





Ex Libris Joannis Nencini
1870

COSMOS

ESSAI D'UNE

DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE

COSMOS

ESSAI D'UNE

DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE

PAR

ALEXANDRE DE HUMBOLDT,

TRADUIT

Par H. FAYE,

Membre de l'Institut,
l'un des astronomes de l'Observatoire de Paris.

« Naturæ vero rerum vis atque majestas in omnibus momentis fide caret, si quis modo partes ejus ac non totam complectatur animo. »

PLIN., *H. N.*, lib. VII, cap. 1.

TROISIÈME PARTIE.

MILAN,

CHEZ L'ÉDITEUR CHARLES TURATI IMPRIMEUR,

RUE SAN PIETRO ALL'ORTO, N.° 892.

1851

TABLE DES MATIÈRES.

TABLES NUMÉRIQUES.

AVERTISSEMENT DU TRADUCTEUR



Ce volume étant spécialement destiné à compléter la partie *uranologique* du *Cosmos*, M. de Humboldt a cru devoir en confier la traduction à l'Astronome qui déjà avait entrepris celle du premier volume. J'ai prié cependant M. Galusky de traduire le premier chapitre, dont les développements littéraires et philosophiques sortent du cadre de mes travaux habituels. C'est donc à l'habile traducteur du second volume du *Cosmos* que je dois les 27 premières pages de celui-ci et les notes correspondantes. De plus, M. Galusky m'a prêté son con-

cours pour la correction de toutes les épreuves. Je suis heureux de pouvoir lui offrir ici l'expression de ma vive reconnaissance.

Je dois ajouter que mon savant confrère M. Guigniaut a bien voulu me permettre, plus d'une fois, d'avoir recours à sa vaste érudition.

H. FAYE.

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION

Je poursuis le but que je me suis fixé et que je n'ai pas désespéré d'atteindre, dans la mesure de mes forces et selon l'état actuel de la science. Conformément au plan que je m'étais tracé, les deux volumes du *Cosmos* publiés jusqu'à ce jour présentent la nature considérée d'un double point de vue. J'ai essayé d'abord de la reproduire sous son aspect extérieur et purement objectif; puis j'ai dépeint son image réfléchie à l'intérieur de l'homme par l'intermédiaire des sens, et j'ai recherché la trace de l'influence qu'elle a exercée sur les idées et les sentiments des différents peuples.

Le monde extérieur a été décrit dans ses deux grandes sphères, la sphère céleste et la sphère terrestre, sous la forme scientifique d'un Tableau général de la Nature. Ce tableau offre d'abord aux regards les étoiles qui brillent parmi les nébuleuses, dans les régions les plus reculées de l'espace; de là, il nous fait redescendre à travers notre système planétaire jusqu'à la couche végétale dont est couvert le sphé-

roïde terrestre, et aux organismes infiniment petits qui flottent souvent suspendus dans les airs et se dérobent à l'œil nu. Pour rendre sensible l'existence du lien commun qui enlace tout l'univers et le gouvernement des lois éternelles de la nature; pour faire saisir, autant qu'elle peut être connue jusqu'à ce jour, cette connexion génératrice qui unit des groupes entiers de phénomènes, il fallait éviter soigneusement l'accumulation des faits particuliers. Une telle réserve était surtout nécessaire dans la sphère terrestre du Cosmos, où, à côté de l'action dynamique des forces motrices, se manifeste énergiquement l'influence produite par la diversité spécifique des substances. Dans la sphère sidérale ou uranologique, les problèmes sont, pour tout ce que l'observation peut atteindre, d'une admirable simplicité, et se prêtent, en raison des masses énormes et des forces attractives de la matière, à des calculs rigoureux, fondés sur la théorie du mouvement. Si nous sommes, ainsi que je le crois, autorisés à regarder les astéroïdes ou pierres météoriques comme des parties de notre système planétaire, ces corps sont les seuls qui, en tombant sur la terre, nous mettent en contact avec des substances évidemment hétérogènes, qui circulent dans l'espace ([1]). J'indique ici les causes pour lesquelles la méthode mathématique a été jusqu'à ce jour moins généralement et moins heureusement appliquée aux phénomènes terrestres qu'aux mouvements des corps célestes, gouvernés uniquement dans leurs perturbations réciproques et leurs retours périodiques par la force fondamentale de la matière homogène, aussi loin du moins que peuvent s'étendre nos perceptions.

Je me suis surtout efforcé, en traçant le tableau de la Terre, de disposer les phénomènes suivant un ordre qui laissât soupçonner le lien générateur par lequel ils se rattachent l'un à l'autre. J'ai décrit la configuration du corps terrestre: je l'ai représenté avec sa densité moyenne, avec les variations de sa température croissant en raison de la profondeur, avec ses courants électro-magnétiques et les phénomènes

de la lumière polaire. La réaction de l'intérieur contre l'extérieur de la Terre est le principe de l'activité volcanique : c'est à cette cause que doivent être rapportés les ondes d'ébranlement qui se propagent dans des cercles plus ou moins étendus, et les effets de ces ébranlements, qui ne sont pas toujours purement dynamiques, comme les éruptions de gaz, de boue et d'eau chaude. Le soulèvement des montagnes ignivomes est la plus haute manifestation des forces intérieures de la Terre. Nous avons représenté les volcans centraux et les chaînes de volcans, non pas seulement comme des éléments de destruction, mais aussi comme des agents producteurs, qui continuent à former sous nos yeux, et le plus souvent à des époques fixes, des roches d'éruption. En opposition avec les roches d'éruption, nous avons montré les roches de sédiment se précipitant aujourd'hui encore du sein des milieux liquides dans lesquels leurs dernières particules flottaient suspendues ou dissoutes. Cette comparaison des parties de la Terre en voie de développement, dont la figure n'est pas encore déterminée, avec celles qui, solidifiées depuis longtemps, forment les différentes couches de la croûte terrestre, nous conduit à déterminer avec certitude la série successive des formations qui renferment dans un ordre chronologique les familles éteintes des animaux et des plantes, et permettent de reconnaître distinctement la Faune et la Flore de l'ancien monde. La naissance, la transformation et l'exhaussement des couches, aux diverses époques géologiques, sont les conditions d'où dépendent tous les accidents de la surface terrestre : la répartition de l'élément liquide et de l'élément solide, ainsi que l'étendue et l'articulation des masses continentales, en largeur et en hauteur. Ces relations, à leur tour, déterminent la température des courants marins, l'état météorologique de l'océan gazeux qui enveloppe la Terre, et la distribution géographique des différents organismes. Le souvenir du lien qui unit les phénomènes terrestres, et que j'ai tenté de mettre en lumière dans la première partie du *Cosmos*, suffit, je pense, pour prouver qu'il est impossible de rap-

procher les résultats si vastes et en apparence si complexes de l'observation, sans approfondir la connexité qui rattache les causes aux effets. La signification de la nature est d'ailleurs considérablement affaiblie, lorsque, par une trop grande accumulation de faits isolés, on enlève aux descriptions dans lesquelles on cherche à la reproduire, toute leur chaleur vivifiante.

Si je ne pouvais sérieusement prétendre, quelque soin que j'y apportasse, à n'omettre aucune particularité dans le tableau des phénomènes extérieurs, il n'était pas plus facile de tout dire, en dépeignant le reflet de la nature dans l'esprit de l'homme. Ici même les bornes devaient être plus étroitement circonscrites. L'immense empire du monde intellectuel, fécondé depuis des siècles par les forces actives de la pensée, nous montre, dans les diverses races d'hommes et aux différents degrés de la civilisation, des dispositions d'esprit tantôt gaies, tantôt sombres ([2]), un vif amour du beau ou une insensibilité grossière. D'abord l'ame de l'homme est conduite au sentiment de la Divinité par le spectacle des forces naturelles et par certains objets du monde extérieur. C'est plus tard seulement que l'homme s'élève à des aspirations religieuses plus pures et plus spirituelles ([3]). Le reflet du monde extérieur dans l'homme, les impressions de la nature environnante et les dispositions physiques exercent aussi plus d'une influence sur la formation mystérieuse des langues ([4]). L'humanité travaille au dedans d'elle la matière que lui fournissent les sens, et les résultats de cette opération intérieure sont aussi bien du domaine du Cosmos que les phénomènes sur lesquels elle s'accomplit.

Comme l'éveil donné à l'imagination créatrice ne permet pas que l'image réfléchie de la nature se conserve pure et fidèle, il existe, à côté du monde réel ou extérieur, un monde idéal ou intérieur, rempli de mythes fantastiques et quelquefois symboliques, animé par des formes animales dont les parties hétérogènes sont empruntées au monde actuel ou aux débris des générations évanouies ([5]). Des for-

mes merveilleuses d'arbres et de fleurs croissent aussi sur le sol de la mythologie, comme ce frêne gigantesque des chants de l'Edda, cet Arbre du Monde nommé Ygdrasil, dont les branches s'élèvent au-dessus du ciel, tandis que l'une de ses trois racines s'enfonce jusque dans les sources retentissantes du monde souterrain (6). Ainsi la région nébuleuse de la mythologie physique est, suivant la différence des races et des climats, peuplée de formes gracieuses ou effroyables qui passent de là dans le domaine des idées savantes, et durant l'espace de plusieurs siècles, se transmettent de génération en génération.

Si le travail que j'ai livré au public ne répond pas assez au titre dont j'ai souvent moi-même signalé la hardiesse imprudente, ce reproche d'insuffisance doit porter principalement sur la partie qui traite de la vie intellectuelle et du reflet de la nature dans le sentiment de l'homme. Pour cette partie surtout, je me suis borné aux objets les plus rapprochés des études qui ont rempli ma vie; j'ai recherché l'expression du sentiment de la nature chez les peuples de l'antiquité classique et chez les nations modernes, recueillant les fragments de poésie descriptive qui ont emprunté leur couleur au caractère national de chacune de ces races, et à l'idée qu'elles se faisaient de la création en tant que l'œuvre d'une puissance unique; j'ai dépeint le charme gracieux de la peinture de paysage; enfin j'ai retracé l'histoire de la contemplation du monde, c'est-à-dire l'histoire des découvertes qui, en se succédant pendant un laps de vingt siècles, ont permis à l'observateur d'embrasser l'ensemble de l'univers et de dégager l'unité qui domine tous les phénomènes.

En admettant que, dans le premier essai d'une œuvre aussi vaste, qui se propose, tout en restant scientifique, de représenter l'image vivante de la nature, on puisse avoir la prétention d'être complet en quelque chose, du moins, doit-on chercher à l'être plus par les idées que l'on soulève que par les résultats que l'on fournit. Un Livre de la Nature vraiment digne de ce nom ne pourra apparaître

que lorsque les sciences, condamnées dès le principe à rester toujours incomplètes, se seront du moins agrandies et élevées à force de persévérance, et qu'ainsi les deux sphères en lesquelles se décompose le Cosmos, le monde extérieur perçu par les sens et le monde intérieur réfléchi dans la pensée de l'homme, auront l'une et l'autre gagné en clarté lumineuse.

Je crois avoir suffisamment indiqué les raisons qui devaient me déterminer à ne pas donner plus d'extension au Tableau général de la Nature, me réservant, dans le troisième et dernier volume, de suppléer à ce qui manque, et de réunir les résultats de l'observation sur lesquels est fondé l'état actuel des opinions scientifiques. Ces résultats seront rangés dans le même ordre que j'ai suivi déjà pour la description de la nature, conformément aux principes établis plus haut. Avant toutefois de passer à des faits particuliers et spéciaux, je demande la permission d'ajouter encore quelques considérations générales qui jetteront un nouveau jour sur l'objet de ce livre. La faveur inattendue avec laquelle un public considérable a accueilli mon entreprise, dans ma patrie et dans les pays étrangers, me fait doublement sentir le besoin de m'expliquer encore une fois, et d'une manière plus précise, sur la pensée fondamentale de cet ouvrage et sur les exigences que je n'ai pas cherché à satisfaire, parce que je n'y pouvais prétendre, d'après l'idée que je me fais personnellement de nos connaissances expérimentales. A ces considérations justificatives se rattacheront comme d'eux-mêmes les souvenirs historiques des premiers efforts faits en vue de découvrir la pensée du Monde, c'est-à-dire le principe unique auquel doivent être ramenés tous les phénomènes lorsqu'on s'efforce d'en découvrir l'harmonie génératrice.

Le principe fondamental de mon livre (7), tel que je l'ai développé, il y a plus de vingt ans, dans des leçons proprofessées en allemand et en français, à Paris et à Berlin, c'est la tendance constante à recomposer avec les phénomènes l'ensemble de la nature, à montrer dans les groupes

isolés des ces phénomènes les conditions qui leur sont communes, c'est-à-dire les grandes lois qui régissent le monde; enfin à faire voir comment de la connaissance de ces lois on remonte au lien de causalité qui les rattache les unes aux autres. Pour arriver à dévoiler le plan du monde et l'ordre de la nature il faut commencer par généraliser les faits particuliers, par rechercher les conditions dans lesquelles les changements physiques se reproduisent uniformément. Ainsi l'on est conduit à une contemplation réfléchie des matériaux fournis par l'empirisme, et non « à des vues purement spéculatives, à un développement abstrait de la pensée, à une unité absolue indépendante de l'expérience. » Nous sommes, je le répète, encore bien loin de l'époque où l'on peut se flatter de faire rentrer toutes les perceptions sensibles dans une idée unique qui embrasserait l'ensemble de la nature. Déjà, un siècle avant François Bacon, la véritable voie avait été frayée et signalée en peu de mots par Léonard de Vinci: « cominciare dall'esperienza et per mezzo di questa scoprirne la ragione ([8]). Il y a, à la vérité, des groupes nombreux de phénomènes dont nous devons nous contenter de découvrir les lois empiriques; mais le but le plus élevé, celui qui a été le plus rarement atteint, est la recherche des causes qui relient entre eux tous les phénomènes ([9]). On n'arrive à une complète évidence que lorsqu'il est possible d'appliquer aux lois générales la rigueur du raisonnement mathématique. Pour certaines parties de la science seulement il est vrai de dire que la *description* du monde est l'*explication* du monde. En général ces deux termes ne peuvent pas encore être considérés comme identiques. Ce qu'il y a de grand, d'imposant dans le travail intellectuel dont nous marquons ici les limites c'est la conscience de l'effort fait pour tendre vers l'infini, pour embrasser l'immense et inépuisable plénitude de la création, c'est-à dire de tout ce qui existe et se développe.

De tels efforts, tentés à travers tous les siècles, ont dû souvent, et de diverses manières, conduire à cette illusion

que le but était atteint, que le principe était trouvé, d'après lequel peuvent être expliqués tous les phénomènes sensibles qui se succèdent dans le monde matériel. Après la longue période où, conformément au premier mode d'intuition de l'esprit hellénique, les forces naturelles qui fixent la forme des choses, les changent et les détruisent, étaient honorées comme des puissances spirituelles voilées sous des formes humaines ([10]), le germe d'une contemplation scientifique de la nature se développa dans les fantaisies physiologiques de l'école ionienne. Cette école était partagée en deux directions différentes. Guidés tantôt par des considérations mécaniques, tantôt par des considérations dynamiques, les naturalistes, pour expliquer l'existence des choses et la succession des phénomènes, recouraient à l'hypothèse de principes concrets et matériels, que l'on appelait les éléments de la nature, ou à la raréfaction et à la condensation des substances élémentaires ([11]). Cette hypothèse de quatre ou cinq éléments spécifiquement distincts, qui peut-être a tiré son origine de l'Inde, est restée mêlée à tous les systèmes de philosophie naturelle, depuis le poème didactique d'Empédocle, et témoigne du besoin que l'homme a éprouvé de tout temps, de viser à la généralisation et à la simplification des idées, qu'il s'agisse de l'action des forces ou seulement de la nature des substances.

Un peu plus tard, lorsque la physiologie ionienne eut pris un nouveau développement, Anaxagore de Clazomène s'éleva de l'hypothèse des forces purement motrices à l'idée d'un esprit distinct de toute espèce de matière, mais intimement mêlé à toutes les molécules homogènes. L'intelligence régulatrice (νοῦς) gouverne le développement incessant de l'univers; elle est la cause première de tout mouvement et par conséquent le principe de tous les phénomènes physiques. Anaxagore explique le mouvement apparent de la sphère céleste, dirigée de l'Est à l'Ouest, par l'hypothèse d'un mouvement de révolution général dont l'interruption, comme on l'a vu plus haut, produit la chute

des pierres météoriques ([12]). Cette hypothèse est le point de départ de la théorie des tourbillons qui, après plus de deux mille ans, a pris par les travaux de Descartes, de Huyghens et de Hooke une si grande place entre les systèmes du monde. L'esprit ordonnateur qui, selon Anaxagore, gouverne l'univers, était-il la Divinité elle-même, ou n'était-ce qu'une conception panthéistique, un principe spirituel qui soufflait la vie à toute la nature? C'est là une question étrangère à cet ouvrage ([13]).

La symbolique mathématique des Pythagoriciens bien qu'elle embrasse également l'univers entier, forme un contraste frappant avec les deux branches de l'école ionienne. Leurs regards ne s'étendent pas au delà des phénomènes perceptibles aux sens, et restent invariablement fixés sur la loi qui règle les cinq formes fondamentales, sur les idées de nombre, de mesure, d'harmonie et de contraste. Les choses, suivant eux, se reflètent dans les nombres qui en sont comme l'imitation (μίμησις). La faculté qu'ont les nombres de croître et de se répéter sans mesure est le caractère de l'éternité et de la nature infinie. Les choses, en tant qu'existantes, peuvent être considérées comme des relations numériques; leurs changements et leurs transformations ne sont que de nouvelles combinaisons des nombres. La physique de Platon contient aussi des essais de ramener toutes les substances qui existent dans l'univers et les développements par lesquels elles passent à des formes corporelles, et ces formes elles-mêmes à la plus simple des figures planes, au triangle ([14]). Quant à savoir quels sont les derniers principes, comme l'on dirait les éléments des éléments, c'est, écrit Platon, dans un sentiment de défiance modeste, ce qui n'est connu que de Dieu et de ceux qu'il aime entre tous. Cette application des mathématiques aux phénomènes physiques, la formation de l'école atomistique, ou la philosophie de la mesure et de l'harmonie, ont longtemps influé sur le développement des sciences, et conduit des esprits aventureux par des chemins détournés que doit retracer l'histoire de la Contemplation du Monde.

Il y a dans les simples rapports du temps et de l'espace, révélés par les sons, les nombres et les lignes, un charme attachant qu'a célébré toute l'antiquité ([15]).

L'idée de l'ordre et du gouvernement de l'univers ressort dans toute sa pureté et dans toute son élévation des écrits d'Aristote. Ses *Auscultationes physicæ* représentent les phénomènes de la nature comme les effets de forces vitales, émanant d'une puissance universelle. Le ciel et la nature ([16]), dit-il en désignant sous ce nom la sphère terrestre des phénomènes, dépend du moteur immobile du monde. L'ordonnateur, ou, en d'autres termes, le dernier principe des phénomènes sensibles, doit être considéré comme distinct de toute espèce de matière et ne tombant pas sous les sens ([17]). L'unité qui domine tous les phénomènes par lesquels se manifestent les forces de la matière est élevée dans Aristote à la hauteur d'un principe essentiel, et ces manifestations elles-mêmes sont toujours ramenées à des mouvements. Ainsi le traité *de Anima* renferme déjà le germe de la théorie des ondulations lumineuses ([18]). La sensation de la vue est produite par un ébranlement, une vibration du milieu placé entre l'œil et l'objet, et non par des émanations qui s'échapperaient de l'un ou de l'autre. Aristote compare l'ouïe à la vue, parce que le son est aussi un effet des vibrations de l'air.

Aristote, tout en recommandant d'appliquer la raison à rechercher le général dans le détail des particularités perçues par les sens, embrasse toujours l'ensemble de la nature et la connexion intime non-seulement des forces mais aussi des formes organiques. Dans le livre qu'il a écrit sur les organes des animaux (*de Partibus Animalium*), il exprime clairement sa croyance à la gradation par laquelle les êtres s'élèvent successivement des formes inférieures à des formes plus hautes. La nature suit un développement progressif et non interrompu, depuis les objets inanimés ou élémentaires jusqu'aux formes animales, en passant par les plantes, et « en s'essayant d'abord sur ce qui n'est pas

encore un animal proprement dit, mais qui en est si voisin qu'il y a en vérité peu de différence ([19]). » Dans cette gradation des formes, les nuances intermédiaires sont insensibles ([20]). Le grand problème du Cosmos est pour le Stagirite l'unité de la nature: « Dans la nature, dit-il avec une singulière vivacité d'expression, rien d'isolé ni de décousu, comme dans une mauvaise tragédie ([21]). »

Tous les ouvrages physiques d'Aristote, observateur aussi exact que profond penseur, laissent voir clairement cette tendance philosophique à faire dépendre d'un principe unique tous les phénomènes de l'univers. Mais l'état imparfait de la science, l'ignorance où l'on était à cette époque de la méthode expérimentale, qui consiste à susciter les phénomènes dans des conditions déterminées, ne permettait pas d'embrasser le lien de causalité qui unit ces phénomènes, même en les divisant en groupes peu nombreux. Tout se bornait aux oppositions sans cesse renaissantes du froid et du chaud, de la sécheresse et de l'humidité, de la raréfaction et de la densité primitives et aux altérations produites dans le monde matériel par une sorte d'antagonisme intérieur (ἀντιπερίστασις), qui rappelle les hypothèses modernes des polarités opposées et le contraste du + et du — ([22]). Les solutions proposées par Aristote ont le tort de déguiser les faits, et dans l'explication des phénomènes d'optique ou de météorologie le style, d'ailleurs si énergique et si concis du Stagirite, semble prendre plaisir à s'étendre et emprunter quelque chose de la diffusion hellénique. Comme l'esprit d'Aristote était presque exclusivement dirigé vers l'idée de mouvement, et se préoccupait peu de la diversité des substances, il en résulte que sa pensée fondamentale de ramener tous les phénomènes terrestres à l'impulsion donnée par le mouvement du ciel, c'est-à-dire par la révolution de la sphère céleste, se reproduit sans cesse, qu'on la retrouve partout, qu'elle est, de la part de l'auteur, l'objet d'une sorte de prédilection, mais que nulle part elle n'est présentée avec une précision et une rigueur absolues ([23]).

Par l'impulsion dont j'essaye de donner l'idée, il ne faut entendre que la communication du mouvement, considéré comme le principe de tous les phénomènes terrestres. Les vues panthéistiques sont tout à fait laissées de côté. La Divinité est la plus haute unité ordonnatrice; « elle se manifeste dans tous les cercles de l'univers, donne leur destination à tous les êtres distincts de la nature, et combine tout en vertu de sa puissance absolue (24). Les idées de but et d'appropriation sont appliquées, non pas aux phénomènes subordonnés de la nature inorganique ou élémentaire, mais principalement aux organismes qui occupent une place plus élevée dans le règne animal ou végétal (25). Il est remarquable que dans ces théories, la Divinité se sert d'une quantité d'esprits sidéraux qui retiennent les planètes dans leurs éternelles orbites, comme s'ils connaissaient la distribution des masses et les perturbations (26). Les astres sont, dans le monde matériel, l'image de la Divinité. En dépit du titre qu'il porte, je n'ai pas mentionné le traité *de Mundo*, faussement attribué à Aristote et certainement émané de l'école stoïcienne. L'auteur, dans des descriptions où l'on remarque souvent une couleur et une animation un peu factices, découvre à la fois aux regards le ciel et la terre, les courants de la mer et de l'océan atmosphérique; mais nulle part ne se manifeste la tendance à chercher dans les propriétés de la matière des principes généraux, auxquels puissent être ramenés tous les phénomènes de l'univers.

Je me suis arrêté longtemps à l'époque de l'antiquité; où se sont fait jour les aperçus les plus brillants sur la nature, afin de pouvoir opposer ces premiers essais de généralisation aux tentatives des temps modernes. Dans ce mouvement des intelligences appliquées à élargir la contemplation du monde, le XIII[e] siècle et le commencement du XIV[e] se distinguent entre tous les autres, ainsi qu'on l'a pu voir dans le précédent volume du *Cosmos* (27). Cependant l'*Opus majus* de Roger Bacon, le *Miroir de la Nature* de Vincent de Beauvais, le *Liber cosmographicus* d'Albert le

Grand et l'*Imago mundi* du cardinal Pierre d'Ailly sont des ouvrages dont le contenu ne répond pas au titre, quelque influence qu'ils aient pu d'ailleurs exercer sur les contemporains. Parmi les adversaires de la physique péripatéticienne en Italie, Telesio, de Cosenza, est signalé comme le fondateur d'un système scientifique plus rationnel. Pour lui la matière est passive et tous les phénomènes sont les effets de deux principes immatériels ou de deux forces, le froid et le chaud. Toute la vie organique, les plantes « animées » aussi bien que les animaux eux-mêmes sont le produit de ces deux forces éternellement opposées, dont l'une, la chaleur, appartient à la sphère céleste, et dont l'autre, le froid, rentre dans la sphère terrestre.

Emporté par une fantaisie plus désordonnée encore, mais doué d'un esprit profond d'investigation, Giordano Bruno, de Nola, a tenté d'embrasser l'ensemble de l'univers, dans trois ouvrages différents ([28]): dans le traité *de la Causa, Principio et Uno ;* dans ses *Contemplationi circa lo Infinito, Universo e Mondi innumerabili,* et dans le *de Minimo et Maximo.* La philosophie de la nature de Telesio, contemporain de Copernic, laisse voir du moins l'effort tenté pour ramener les transformations de la matière à deux de ses forces fondamentales qui, à la vérité, sont supposées agir du dehors, mais jouent néanmoins un rôle analogue à celui de l'attraction et de la répulsion, dans la théorie dynamique de Boscowich et de Kant. Les vues de Giordano Bruno sur le Monde sont purement méthaphysiques : loin de chercher dans la matière elle-même les causes des phénomènes sensibles, il touche à l'idée d'un espace infini, rempli de mondes qui brillent de leur lumière propre ; il parle des ames qui animent ces mondes et des relations de l'intelligence suprême, de Dieu, avec l'univers. Bien que moins versé dans les connaissances mathématiques, Giordano Bruno fut, jusqu'au jour de son martyre, admirateur enthousiaste de Copernic, de Tycho et de Képler ([29]). Contemporain de Galilée, il ne vit pas l'invention du télescope par Hans Lippershey et Zacharias Jansen, ni par con-

séquent la découverte « du petit Monde de Jupiter, » des phases de Vénus et des nébuleuses. Plein d'une généreuse confiance dans ce qu'il nomme *lume interno*, *ragione naturale, altezza dell'intelletto*, il se laissa aller à d'heureuses divinations sur les mouvements des étoiles fixes, sur la nature planétaire des comètes et sur la forme imparfaitement sphérique du globe terrestre ([30]). L'antiquité grecque est pleine aussi de ces pressentiments uranologiques, que le temps plus tard a réalisés.

En suivant la marche des idées, auxquelles ont donné naissance les relations des diverses parties de l'univers, on trouve que Képler fut celui qui approcha le plus près d'une théorie mathématique de la gravitation, et cela soixante-dix-huit ans avant l'apparition de l'immortel ouvrage de Newton, des *Principia philosophiæ naturalis*. Si un philosophe éclectique, Simplicius, exprima d'une manière générale cette pensée, que l'équilibre des corps célestes tenait à ce que la force centrifuge avait la haute main sur la pesanteur, c'est-à-dire sur la force qui attirait ces corps vers les régions inférieures; si Jean Philopon, élève d'Ammonius Herméas, attribua le mouvement de ces corps à une impulsion primitive et à un effort constant pour tomber; si enfin, comme nous l'avons remarqué déjà, il ne faut voir dans ces mémorables paroles de Copernic: « Gravitatem non aliud esse quam appetentiam quamdam naturalem partibus inditam a divina providentia opificis universorum, ut in unitatem integritatemque suam sese conferant, in formam globi coeuntes » que l'idée générale de la gravitation, telle qu'elle s'exerce par le Soleil, centre du monde planétaire, sur la Terre et sur la Lune; ce n'est pourtant que dans l'introduction au traité *de Stella Martis* de Képler que l'on trouve, pour la première fois, une appréciation numérique de la gravitation réciproque de la Terre et de la Lune suivant le rapport de leurs masses ([31]). Képler cite le flux et le reflux comme une preuve que la force attractive de la Lune (*virtus tractoria*) s'étend jusqu'à la Terre; il croit même que cette force, semblable à l'action de l'ai-

mant sur le fer, enlèverait à la Terre toute l'eau qui la recouvre si cette eau d'autre part n'était attirée par la Terre (32). Malheureusement dix années plus tard, en 1619, ce grand homme, peut-être par déférence pour Galilée qui rapportait les marées à la rotation de la Terre, abandonna l'explication véritable, pour représenter la Terre, dans son *Harmonice Mundi,* comme un monstre qui, lorsqu'il s'endort ou s'éveille à des moments réglés sur la marche du Soleil, produit par sa respiration, semblable à celle d'une baleine, le gonflement ou l'abaissement de l'Océan. D'après le sens mathématique dont témoigne d'une manière éclatante l'un des ouvrages de Képler, ainsi que l'a déjà reconnu Laplace, on ne saurait trop regretter que l'homme auquel est due la découverte des trois grandes lois qui président à tous les mouvements planétaires, n'ait pas persévéré dans la voie à laquelle l'avaient conduit ses vues sur l'attraction des corps célestes (33).

Plus versé que Képler dans l'étude des sciences naturelles, et fondateur de plusieurs parties de la physique mathématique, Descartes entreprit d'embrasser, dans un ouvrage qu'il appelait *Traité du Monde* ou *Summa Philosophiæ*, le monde entier des phénomènes, la sphère céleste et tout ce qu'il savait de la nature vivante ou de la nature inanimée. L'organisation des animaux, particulièrement celle de l'homme, avec laquelle il s'était familiarisé pendant onze ans par de sérieuses études anatomiques, devait terminer l'ouvrage (34). Dans les lettres de Descartes au Père Mersenne on rencontre souvent des plaintes sur la lenteur avec laquelle avançait le travail, et sur la difficulté de rattacher entre eux tant de matériaux divers. Le *Cosmos*, que Descartes nommait toujours son *Monde,* devait être définitivement livré à l'impression vers la fin de l'année 1633, lorsque le bruit de la condamnation de Galilée, répandu par Gassendi et Bouillaud quatre mois seulement après qu'elle eut été prononcée par l'inquisition romaine, fit tout rompre et priva la postérité de ce vaste ouvrage, composé avec tant de soins et tant de peine. Descartes renonça à publier son *Cosmos*, de

peur de compromettre le repos dont il jouissait dans sa solitude de Deventer, et aussi pour ne pas paraître manquer de respect à l'autorité du Saint-Siége, en soutenant de nouveau le mouvement planétaire du globe terrestre ([35]). Ce fut seulement en 1674, quatorze ans par conséquent après la mort de Descartes, que quelques parties de son *Cosmos* furent imprimées sous ce singulier titre: *Le Monde ou Traité de la lumière* ([36]); cependant les trois chapitres où il est question de la lumière forment à peine un quart de l'ouvrage. D'autres fragments, qui contenaient des considérations sur le mouvement des planètes et leurs distances relativement au Soleil, sur le magnétisme terrestre, les marées, les tremblements de terre et les volcans, ont été reportés dans la troisième et la quatrième partie du célèbre ouvrage intitulé: *Principes de la philosophie.*

Malgré son titre significatif, le *Cosmotheoros* de Huyghens, qui ne fut publié qu'après sa mort, mérite à peine de trouver place dans cette énumération des essais cosmologiques. Ce ne sont que les rèveries et les vagues hypothèses d'un grand homme sur le règne végétal et le règne animal des astres les plus éloignés, particulièrement sur les altérations qu'a dû subir la forme humaine dans ces corps célestes: on croit lire le *Somnium astronomicum* de Képler ou le voyage extatique de Kircher. Comme Huyghens, ainsi que les astronomes de notre temps, refuse déjà à la Lune l'air et l'eau, il en résulte que les habitants de la Lune l'embarrassent plus encore que ceux des planètes plus éloignées, « qui sont entourées de nuages et de vapeurs ([37]). »

A l'immortel auteur des *Philosophiæ Naturalis Principia mathematica,* il était réservé d'embrasser toute la partie céleste du Cosmos, en expliquant la connexité des phénomènes à l'aide d'un principe moteur qui seul domine tout. Newton est le premier qui ait fait servir l'astronomie à la solution d'un grand problème de mécanique, et l'ait élevée à la hauteur d'une science mathématique. La quantité de matière contenue dans chaque corps céleste donne la mesure de sa force attractive, force qui agit en raison inverse

du carré des distances et détermine la grandeur des actions perturbatrices que non-seulement les planètes, mais toutes les étoiles remplissant les espaces célestes, exercent les unes sur les autres. La théorie de la gravitation, si admirable par sa simplicité et sa généralité, n'est pas même bornée à la sphère uranologique; elle règne aussi sur les phénomènes terrestres, et dans ce domaine, a frayé des voies qui, en partie du moins, n'avaient pas encore été explorées. Elle donne la clef des mouvements périodiques qui s'accomplissent dans l'Océan et dans l'atmosphère (38), et mène à la solution des problèmes de la capillarité, de l'endosmose et d'un grand nombre de phénomènes chimiques, organiques ou électro-magnétiques. Newton alla jusqu'à distinguer l'attraction des masses, telle qu'elle se manifeste dans les mouvements de tous les corps célestes et dans le phénomène des marées, de l'attraction moléculaire qui s'exerce à des distances infiniment petites et au contact immédiat (39).

Ainsi, dans tous les essais tentés pour ramener les phénomènes variables du monde sensible à un principe unique et fondamental, la théorie de la gravitation apparaît toujours comme le principe le plus compréhensif et celui qui promet le plus pour l'explication du monde. Sans doute, malgré les brillants progrès accomplis récemment dans la stœchiométrie, c'est-à-dire dans le calcul appliqué aux éléments chimiques et aux volumes des gaz qui se combinent, on n'a pu encore soumettre toutes les théories physiques de la matière à des démonstrations mathématiques. On a découvert des lois expérimentales, et grâce à l'essor nouveau qu'a pris la philosophie atomistique ou corpusculaire, un grand nombre de phénomènes sont devenus susceptibles d'être calculés mathématiquement. Mais telle est l'hétérogénéité sans fin de la matière, tels sont les divers états d'agrégation suivant lesquels se combinent les atomes, que l'on n'a pu trouver encore le moyen d'expliquer ces lois empiriques par la théorie de l'attraction moléculaire, avec le degré de certitude que donne, aux trois grandes lois expérimentales de Képler, la théorie de la gravitation.

Alors même qu'il avait déjà reconnu que tous les mouvements des corps célestes sont les effets d'une seule et même force, Newton ne considérait pas encore la gravitation, ainsi que l'a fait Kant depuis, comme une propriété essentielle de la matière (40); selon lui, elle était dérivée d'une autre force plus haute qu'il ne connaissait pas encore, ou produite par « l'action de l'éther qui remplit l'espace, et qui, plus rare dans les intervalles des molécules, croît en densité à l'extérieur. » Ce dernier aperçu est développé en détail dans une lettre à Robert Boyle, datée du 28 février 1678, et finissant par ces mots: « Je cherche dans l'éther la cause de la gravitation (41). » Huit ans plus tard, ainsi qu'il résulte d'une lettre à Halley, Newton abandonna complètement l'hypothèse d'un éther plus rare ou plus dense, suivant la nature des espaces qu'il remplit (42). Il est particulièrement digne de remarque que neuf ans avant sa mort, en 1717, dans la courte introduction placée en tête de la seconde édition de son *Optique*, il crut nécessaire de déclarer en termes précis qu'il ne considérait nullement la gravitation comme une propriété essentielle des corps, *essential property of bodies* (43); tandis que, dès l'année 1600, Gilbert proclamait le magnétisme une force inhérente à toute matière. Telles étaient les hésitations de Newton lui-même, le plus profond des penseurs, mais en même temps l'observateur le plus docile aux leçons de l'expérience, sur « la dernière cause mécanique de tout mouvement. »

C'est assurément un problème brillant et digne d'occuper l'esprit humain que de fonder une science générale de la nature, dont tous les éléments, depuis les lois de la pesanteur jusqu'à la force créatrice qui préside aux phénomènes de la vie, formeraient un ensemble organique. Mais l'état d'imperfection où sont retenues encore tant de branches des sciences naturelles, oppose à ce projet des difficultés invincibles. L'impossibilité de compléter jamais l'expérience, et de limiter la sphère de l'observation, font du problème qui consiste à expliquer tous les changements de

la matière par les lois de la matière elle-même, un problème indéterminé. La perception est loin de pouvoir épuiser le champ des phénomènes perceptibles. Si, pour nous borner aux progrès accomplis de nos jours, nous comparons les connaissances incomplètes de Gilbert, de Robert Boyle et d'Hales avec celles que nous possédons actuellement; si nous songeons en même temps à la rapidité avec laquelle l'impulsion augmente tous les dix ans, peut-être pourrons-nous embrasser les changements périodiques et indéfinis qui sont aujourd'hui encore à l'horizon des sciences naturelles. De nouvelles substances et de nouvelles forces ont été découvertes. Si un grand nombre de phénomènes, tels que ceux de la lumière, de la chaleur et de l'électro-magnétisme, ont été ramenés à la loi des ondulations, et se prêtent aujourd'hui à la rigueur des formules mathématiques, il en est d'autres qui sont peut-être insolubles. De ce nombre sont la diversité chimique des substances, la loi suivant laquelle varient, d'une planète à l'autre, le volume, la densité, la position des grands axes, l'excentricité de leurs orbites, le nombre et les distances de leurs satellites, la forme des continents et la situation des plus hautes chaînes de montagnes. Ces relations, que souvent déjà nous avons signalées, ne peuvent être considérées jusqu'ici que comme des faits; leur existence seule nous est connue. Ce n'est pas une raison pourtant, parce que les causes et la liaison de ces phénomènes sont encore ignorées, pour qu'on puisse n'y voir que des accidents fortuits. Ils sont le résultat d'événements accomplis dans les espaces célestes, lors de la formation de notre système planétaire, de phénomènes géologiques qui ont précédé ou accompagné le soulèvement des couches terrestres, dont sont formés les continents et les chaînes de montagnes. Nos connaissances ne remontent pas assez haut dans les premiers âges de l'histoire du Monde, pour que nous puissions rattacher complètement l'état actuel des choses au passé et à l'avenir ([44]).

Bien que le lien de causalité qui unit tous les phénomènes ne soit pas encore suffisamment connu, l'étude du Cos-

mos ne saurait être considérée comme une branche à part dans le domaine des sciences naturelles. Elle embrasse plutôt ce domaine en entier, les phénomènes du ciel aussi bien que ceux de la terre, mais elle les embrasse d'un certain point de vue, qui est celui d'où l'on peut le mieux recomposer l'ensemble du Monde [45]. De même que pour retracer les faits accomplis dans la sphère morale et politique, l'historien, placé au point de vue de l'humanité, ne peut discerner directement le plan sur lequel est réglé le gouvernement du monde, mais est réduit à soupçonner les idées par lequelles ce plan se manifeste, de même l'observateur de la nature, en considérant les rapports qui unissent les diverses parties de l'univers, se laisse aller à la conviction que le nombre des forces auxquelles les objets doivent le mouvement, la forme ou l'existence, est loin d'être épuisé par celles qu'ont révélées la contemplation immédiate et l'analyse des phénomènes [46].

PARTIE URANOLOGIQUE

DE LA

DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE

RÉSULTATS DE L'OBSERVATION

Nous prenons de nouveau notre point de départ dans les profondeurs de l'espace, où des amas sporadiques d'étoiles se présentent à l'œil armé du télescope comme de pâles nébulosités. De là, nous descendrons successivement aux étoiles doubles, souvent teintes de deux couleurs et tournant autour de leur centre de gravité commun, puis aux strates stellaires dont notre monde de planètes paraît être entouré; nous décrirons ensuite ce système planétaire, et, par là, nous arriverons à la planète même qui nous sert de demeure, au spheroïde terrestre enveloppé de l'océan liquide et de l'océan gazeux.

Dès le début du *Tableau général de la Nature* ([47]), j'ai montré que cet ordre d'idées est le seul qui puisse convenir au caractère propre d'un ouvrage qui a pour sujet le Cosmos. Il ne s'agit point ici, en effet, de s'astreindre aux conditions logiques de l'analyse: l'analyse commencerait par l'étude des phénomènes organiques au milieu desquels nous vivons; elle s'élèverait progressivement aux mouve-

ments réels des corps célestes, en passant par l'étude préalable des mouvements apparents. C'est le contraire que nous faisons.

Le règne *uranologique*, opposé au règne *tellurique*, se partage en deux branches: l'une est l'astrognosie ou astronomie sidérale; l'autre comprend le système solaire ou planétaire. Il est inutile de s'arrêter à signaler ici, une fois de plus, combien cette nomenclature ou ces subdivisions sont incomplètes et peu satisfaisantes. On a introduit des noms, dans les sciences naturelles, longtemps avant d'avoir suffisamment apprécié le vrai caractère de leurs divers objets, et d'avoir délimité ces objets d'une manière rigoureuse ([48]). Mais là n'est pas le point capital: il est dans l'enchaînement des idées et dans l'ordre suivant lequel doivent être traités les différents sujets. Les changements dans les dénominations générales, les sens nouveaux donnés à des mots d'un usage fréquent ont l'inconvénient de dépayser et peuvent même induire en erreur.

ASTRONOMIE SIDÉRALE

Rien n'est immobile dans l'univers; les étoiles fixes elles-mêmes se meuvent: Halley, le premier, l'a prouvé pour Sirius, Arcturus, Aldébaran; et, de nos jours, les preuves les moins contestables ont surgi de toutes parts ([49]). Depuis vingt et un siècles, c'est-à-dire depuis les observations d'Aristille et d'Hipparque, la brillante étoile du Bouvier, Arcturus, a sensiblement marché dans le ciel par rapport aux étoiles voisines: le déplacement est égal à une fois et demie le diamètre apparent de la lune. Si l'antiquité nous eût légué des observations analogues pour μ de Cassiopée et la 61ᵉ du Cygne, on pourrait aujourd'hui, d'après Encke, constater que ces étoiles ont parcouru, sur la voûte céleste et dans le même laps de temps, la première, un arc égal à trois fois et demie, la seconde, un arc égal à six fois le

diamètre du disque lunaire. On est donc fondé à croire, en se laissant guider par l'analogie, que partout s'opèrent des mouvements de translation et même de révolution.

Le nom d'*étoiles fixes* conduit, comme on le voit, à des appréciations erronées, soit qu'on lui restitue le sens qu'il avait primitivement chez les Grecs, celui d'astres cloués à un ciel de cristal, soit qu'on lui laisse le sens actuel, d'origine plus spécialement romaine, celui d'astres en repos ou conservant du moins leur immobilité relative. La première de ces deux idées devait d'ailleurs conduire à la seconde. Toute l'antiquité grecque a classé les astres en astres errants et en astres immobiles (ἄστρα πλανώμενα ou πλανητά, et ἀπλανεῖς ἀστέρες ou ἀπλανῆ ἄστρα). Cette notion remonte jusqu'à Anaximène, philosophe de l'école ionienne, ou au pythagoricien Alcméon ([50]). Outre cette dénomination généralement employée pour les étoiles fixes, que Macrobe a traduite en latin, dans le *Somnium Scipionis*, par le terme de *sphæra aplanes* ([51]), on rencontre souvent dans Aristote ([52]), qui semble avoir eu à cœur d'introduire un nouveau terme technique, le nom d'*astres fixés* (ἐνδεδεμένα ἄστρα). De là sont sorties successivement, les expressions de Cicéron, *sidera infixa cœlo ;* celles de Pline, *stellas quas putamus affixas*, et même, chez Manilius, le terme définitif *astra fixa*, équivalent fidèle de ce que nous entendons par *les fixes* ([53]). Cette idée d'astres *attachés* conduisit à l'idée corrélative d'immobilité, de repos dans une même position déterminée; c'est ainsi que toutes les traductions latines du moyen âge altérèrent peu à peu la signification originelle du mot *infixum* ou *affixum sidus*, de manière à laisser subsister seulement l'idée d'immobilité. Cette tendance se dessine déjà dans le passage suivant, où Sénèque (*Nat. Quæst.*, l. VII, c. 24) traite, non sans quelque affectation de langage, de la possibilité de découvrir une nouvelle planète: Credis autem in hoc maximo et pulcherrimo corpore, inter innumerabiles stellas quæ noctem vario decore distinguunt, quæ aera minime vacuum et inertem esse patiuntur, quinque solas esse, quibus exercere se liceat: ceteras stare,

fixum et immobilem populum? Ce peuple-là, calme et immobile, ne se rencontre nulle part.

Afin de distribuer commodément par groupes les principaux résultats de l'observation, et les conclusions ou les conjectures auxquelles ils conduisent, je distinguerai successivement dans la sphère sidérale les points suivants:

I. Considérations sur les espaces célestes et sur la matière dont ils paraissent être remplis.

II. Vision naturelle et télescopique; scintillation des étoiles; vitesse de la lumière; recherches photométriques sur l'intensité de la lumière émise par les étoiles.

III. Nombre, distribution et couleurs des étoiles; amas stellaires; Voie lactée dans laquelle on rencontre très-peu de nébuleuses.

IV. Étoiles *nouvelles;* étoiles qui ont disparu; étoiles dont l'éclat varie d'une manière périodique.

V. Mouvements propres des étoiles; existence problématique d'astres obscurs; parallaxe et mesure de la distance de quelques étoiles.

VI. Étoiles doubles et temps de leur révolution autour de leur centre de gravité commun.

VII. Nébuleuses mélangées parfois, comme dans les nuées de Magellan, d'un grand nombre d'amas stellaires; taches noires (*sacs de charbon*) qu'on voit dans quelques régions de la voûte céleste.

I.

ESPACES CÉLESTES



CONJECTURES SUR LA MATIÈRE QUI PARAIT REMPLIR CES ESPACES

Lorsqu'on commence la description physique de l'univers par cette matière, inaccessible à nos sens, qui paraît combler les espaces célestes compris entre les astres les plus éloignés, on est tenté d'assimiler ce début aux origines mythiques de l'histoire du monde. Dans la suite indéfinie des temps, comme dans les espaces sans fin, tout nous apparaît sous un jour douteux, semblable à un crépuscule trompeur: l'imagination est alors puissamment provoquée à tirer d'elle-même des contours, pour préciser des formes indéterminées et changeantes ([54]). Un tel aveu suffira sans doute à nous garantir du reproche de mêler ici les résultats d'inductions incomplètes avec des théories que l'observation et les mesures directes ont élevées à une véritable certitude mathématique. Certes, il faut reléguer les rêveries dans ce qu'on pourrait appeler le roman de l'astronomie physique; mais il faut aussi distinguer entre ces rêveries et les questions intimement unies à l'état actuel et aux espérances de la science. Ces questions ont été jugées dignes d'un sérieux examen par les astronomes les plus éminents

de notre époque; et les esprits exercés aux travaux de l'intelligence aimeront toujours à s'y arrêter.

La gravitation ou la pesanteur universelle, la lumière et les radiations calorifiques ([55]) nous mettent en rapport, selon toute vraisemblance, non-seulement avec notre Soleil, mais encore avec les autres soleils étrangers qui brillent au firmament. D'autre part, l'accord du calcul avec l'observation a confirmé une découverte capitale, celle de la résistance sensible qu'un fluide, dont l'univers serait rempli, oppose à la marche de la comète périodique de trois ans trois quarts. En partant ainsi de quelques points reconnus, en se fondant pour le reste sur l'analogie raisonnée, on peut espérer de rapprocher de la certitude mathématique les simples conjectures qui toujours vont s'égarer vers les limites extrêmes et nuageuses de tout domaine scientifique.

Puisque l'espace est indéfini, quoi qu'en ait pu dire Aristote ([56]), il ne saurait être question d'en mesurer que des parties isolées; or les résultats de ces mesures ont confondu toute notre puissance de compréhension. Beaucoup d'esprits éprouvent une joie enfantine à méditer ces grands nombres; ils croient même que ces images de la grandeur physique, en excitant l'étonnement et presque la stupéfaction, peuvent augmenter l'impression produite sur nos ames par la puissance et la dignité des études astronomiques. Du Soleil à la 61e du Cygne, la distance est de 657000 rayons de l'orbite terrestre; la lumière qui arrive du Soleil à la Terre en 8^{m} 17^{s}, 78, emploie plus de dix ans à parcourir cet espace. D'après une discussion ingénieuse de certaines évaluations photométriques ([57]), Sir John Herschel a pensé que des étoiles de la Voie lactée, visibles seulement dans son télescope de 6 mètres, sont situées à une distance telle que, si ces étoiles étaient des astres nouvellement formés, il aurait fallu 2000 ans pour que leur premier rayon de lumière arrivât jusqu'à nous. Acquérir l'intuition complète de pareils rapports numériques est chose impossible; toutes les tentatives échouent, soit par la grandeur de l'unité à laquelle sont rapportées ces distances,

soit par celle du nombre même qui exprime la répétition de ces unités. Bessel disait avec raison ([58]): « L'espace parcouru par la lumière pendant une seule année dépasse aussi bien la portée de nos facultés d'intuition que l'espace parcouru pendant dix ans. » On s'efforcerait vainement de rendre sensible toute grandeur notablement supérieure à celles avec lesquelles nous avons l'occasion de nous familiariser sur terre. La puissance des nombres humilie d'ailleurs notre compréhension dans les plus petits organismes de la vie animale, comme dans la Voie lactée, formée de ces soleils que nous nommons étoiles fixes. Voyez, en effet, quelle énorme quantité de Polythalames peut renfermer, d'après Ehrenberg, une mince couche de craie! Dans un seul pouce cube d'un tripoli qui forme, à Bilin, une couche de 13 mètres de puissance, on a compté jusqu'à 41000 millions de Gaillionelles (*Galionella distans*): le même volume de tripoli renferme plus de 1 billion 750000 millions d'individus de l'espèce appelée *Galionella ferruginea* ([59]). Ces nombres reportent l'esprit au problème de l'arénaire d'Archimède (ψαμμίτης), au nombre de grains de sable qu'il faudrait pour combler l'univers! L'impression produite par ces nombres, symbole de l'immensité dans l'espace ou dans le temps, rappelle à l'homme sa petitesse, sa faiblesse physique, son existence éphémère; mais bientôt l'homme se relève confiant et rassuré par la conscience de ce qu'il a fait déjà pour dévoiler l'harmonie du monde et les lois générales de la nature.

Si la propagation successive de la lumière, si le mode particulier d'affaiblissement auquel son intensité paraît soumise, si le milieu résistant, dont la présence nous est révélée par les révolutions de plus en plus rapides de la comète d'Encke et par la dispersion des queues gigantesques de nombreuses comètes, nous indiquent assez que les espaces célestes ne sont pas vides ([60]), mais qu'ils sont remplis d'une matière quelconque, il est prudent toutefois, avant d'employer les dénominations, nécessairement un peu vagues, dont on se sert pour désigner cette matière, de pré-

ciser le sens de certains mots et d'en chercher l'origine. Parmi les termes de *matière cosmique* (non pas la matière brillante des nébuleuses), de *milieu sidéral* ou *planétaire, d'éther universel,* employés aujourd'hui, le dernier, qui remonte aux temps les plus reculés et vient des contrées méridionales et occidentales de l'Asie, a souvent, dans le cours des siècles, changé de signification. Chez les philosophes hindous, l'éther (*âkâ' sa*) faisait partie du *règne des cinq* (*pantschatâ*); c'était un des cinq éléments, un fluide doué d'une ténuité incomparable, pénétrant le monde entier, source de la vie universelle et véhicule du son ([61]). Selon Bopp, « l'acception étymologique de *âkâ' sa* est *lumineux, brillant;* ce mot est donc en rapport aussi intime avec l'éther des Grecs que *lumière* l'est avec *feu.* »

L'éther de l'école ionique, d'Anaxagore et d'Empédocle (αἰθήρ), différait complètement de l'air proprement dit ἀήρ), substance plus grossière, chargée de lourdes vapeurs, qui entoure la Terre et s'étend peut-être jusqu'à la Lune. Il était « de nature ignée, un pur air de feu, rayonnant de lumière ([62]), doué d'une ténuité extrême et d'une éternelle activité. » Cette définition répond à l'étymologie véritable (αἴθειν, brûler) qu'Aristote et Platon altérèrent plus tard d'une manière assez étrange, quand ils voulurent, par goût pour les conceptions mécaniques et en jouant sur les mots (ἀεὶ θεῖν), y retrouver le sens de rotation perpétuelle, de mouvement circulaire ([63]). Les anciens, dans leur conception de l'éther, n'avaient point été inspirés par une analogie quelconque avec l'air des montagnes, plus pur et plus dégagé de vapeurs que l'air des régions inférieures; ils n'avaient pas songé davantage à la raréfaction progressive des couches atmosphériques; et comme, d'ailleurs, leurs éléments exprimaient les divers états physiques de la matière, sans avoir aucun rapport avec la nature chimique des corps (corps indécomposables), il faut chercher l'origine de leurs idées sur l'éther dans l'opposition normale et primitive *du pesant* avec *le léger, du bas* avec *le haut,* de *la terre* avec *le feu.* Entre ces deux termes extrêmes, se trouvaient deux

autres états élémentaires: l'eau, plus voisine de la terre pesante; l'air, plus semblable au feu léger ([64]).

C'est seulement par son extrême ténuité que l'éther d'Empédocle, considéré comme un milieu remplissant matériellement l'univers, a de l'analogie avec l'éther dont les vibrations transversales expliquent avec tant de bonheur, dans les conceptions purement mathématiques de la physique moderne, la propagation et les propriétés de la lumière, telles que la double réfraction, la polarisation, les interférences. Mais à cette simple notion, la philosophie d'Aristote ajoutait que la matière éthérée pénétrait tous les organismes vivants de la terre, les plantes comme les animaux; en elle résidait le principe de la chaleur vitale et même le germe d'une essence spirituelle qui, distincte du corps, douait les hommes de spontanéité ([65]). Ces conceptions faisaient descendre l'éther, des régions du ciel, sur celles de la terre; elles le montraient comme une substance extrêmement subtile, pénétrant sans cesse l'atmosphère et les corps solides, tout à fait analogue, en un mot, à l'éther d'Huyghens, de Hooke et des physiciens modernes, à l'éther qui propage la lumière par ses ondulations. Mais ce qui établit immédiatement une différence entre les deux hypothèses, de l'éther ionique et de l'éther moderne, c'est que les philosophes grecs, excepté Aristote, qui ne partageait pas tout à fait ce sentiment, attribuaient à l'éther la faculté de briller par lui-même. L'éther igné d'Empédocle est expressément nommé *lumineux* (παμφανόων); c'était lui que, dans certains phénomènes, les habitants de la terre voyaient briller comme le feu à travers les fentes ou fissures (χάσματα) du firmament ([66]).

A une époque, où l'on poursuit dans toutes les directions les rapports de la lumière avec la chaleur, l'électricité et le magnétisme, il y a une tendance naturelle à expliquer les phénomènes thermiques et électro-magnétiques par des vibrations analogues à ces ondes transversales de l'éther universel auxquelles on rattache déjà tous les phénomènes de la lumière. Sous ce rapport, de grandes découvertes

sont réservées à l'avenir. La lumière et la chaleur rayonnante qui en est inséparable, constituent, pour les corps célestes qui ne brillent point par eux-mêmes, la source principale de toute vie organique ([67]). Et même, loin de la surface, partout où la chaleur pénètre dans l'intérieur de l'écorce terrestre, elle engendre des courants électro-magnétiques, lesquels, à leur tour, provoquent des actions chimiques de décomposition et de recomposition, dirigent les lentes formations du règne minéral, réagissent sur les perturbations de l'atmosphère, et exercent leur influence jusque sur les fonctions vitales de tous les êtres organisés. Si l'électricité en mouvement donne naissance aux forces magnétiques; s'il faut croire, avec Sir William Herschel ([68]), que le soleil lui-même est « à l'état d'aurore boréale perpétuelle, » je dirai presque, à mon tour, à l'état de perpétuel orage électro-magnétique, serait-il donc hasardé de penser aussi que la lumière, en se propageant dans l'espace par les ondulations de l'éther, doive être accompagnée de phénomènes électro-magnétiques?

A la vérité, rien, dans les changements périodiques de l'inclinaison, de la déclinaison et de l'intensité, n'a révélé jusqu'ici à l'observateur que le magnétisme terrestre soit placé sous l'influence des positions diverses du Soleil ou de la Lune. La polarité magnétique de la Terre n'offre aucune anomalie relative à une telle cause, et capable, par exemple, d'affecter d'une manière sensible la précession des équinoxes ([69]). On ne peut citer qu'un seul phénomène de cet ordre: c'est le mouvement d'oscillation ou de rotation si remarquable que le cône lumineux, émergeant de la comète de Halley, a présenté en 1835. Du moins Bessel, après avoir observé ces apparences du 12 au 22 octobre, « resta-t-il convaincu de l'existence d'une force polaire, absolument différente de toute gravitation; car la matière qui formait la queue de la comète éprouvait, de la part du Soleil, *une action répulsive* ([70]). » La magnifique comète de 1744, décrite par Heinsius, avait déjà suggéré à Bessel des conjectures analogues.

Les effets de la chaleur rayonnante, dans les espaces célestes, paraîtront moins problématiques que l'influence attribuée ici à l'électro-magnétisme. La température de ces espaces, est, d'après Fourier et Poisson, le résultat des radiations du Soleil et de tous les astres, radiations diminuées par l'absorption qu'éprouve la chaleur en traversant l'espace « rempli d'éther (71). » La chaleur d'origine stellaire a déjà été indiquée sous plusieurs formes par les anciens Grecs et Romains (72); non qu'ils y aient été conduits exclusivement par l'opinion dominante, en vertu de laquelle les astres occupaient la région ignée de l'éther; mais parce qu'ils attribuaient aux astres eux-mêmes une nature ignée (73). Déjà Aristarque de Samos avait enseigné que les étoiles et le Soleil étaient d'une seule et même nature.

L'intérêt que les travaux des deux grands géomètres français, dont je viens de citer les noms, avaient appelé sur la question de déterminer approximativement la température des espaces célestes, est devenu beaucoup plus vif, dans ces derniers temps, lorsqu'on a compris toute l'importance du rôle que le rayonnement de la surface terrestre vers le ciel joue dans l'ensemble des phénomènes thermiques, et même, on peut le dire, dans les conditions d'habitabilité de notre planète. D'après *la Théoire analytique de la chaleur* de Fourier, la température des espaces planétaires ou célestes, doit être un peu inférieure à la température moyenne des pôles. Peut-être est-elle au-dessous du plus grand froid qu'on ait jamais observé dans les contrées polaires; en conséquence Fourier l'évalue à — 50° ou — 60°.

Le *pôle glacial,* c'est-à-dire le point où se produisent les plus basses températures, ne coïncide pas plus avec le pôle de rotation que *l'équateur thermal,* ligne formée par les points les plus chauds de tous les méridiens, ne se confond avec l'équateur géographique. La température du pôle nord, par exemple, conclue par extrapolation de la marche des températures moyennes dans les localités voisines, est de

— 25° d'après Arago, tandis que le capitaine Back a mesuré, en janvier 1834, un minimum de température de — 56°, 6, au fort Reliance, par 62° 46' seulement de latitude ([74]). La plus basse température qui ait jamais été mesurée sur la Terre entière est certainement celle que Neveroff a observée le 21 janvier 1838, à Jakoutsk, par 62° 2' de latitude. Ses instruments avaient été comparés à ceux de Middendorf dont tous les travaux sont si exacts. Neveroff trouva — 60°.

Une des nombreuses causes de l'incertitude qui affecte l'évaluation numérique de la température de l'espace, vient de ce qu'il n'a pas été possible d'y faire concourir les données relatives aux pôles de froid des deux hémisphères; et cela parce que la météorologie du pôle austral est encore trop peu connue pour nous permettre d'en déduire la température moyenne de l'année vers ce pôle. Quant à l'opinion émise par Poisson, d'après laquelle les diverses régions de l'espace auraient des températures très-différentes, en sorte que le globe terrestre, emporté par le mouvement de translation générale du système solaire, parcourrait successivement des régions chaudes et des régions froides, et aurait ainsi reçu de l'extérieur sa chaleur interne ([75]), une telle conception ne peut avoir pour moi qu'un très-faible degré de vaisemblance.

La question de savoir si la température de l'espace, ou même *le climat* de certaines régions célestes, peut subir, dans le cours des siècles, des variations considérables, dépend principalement de la solution de cet autre problème posé par Sir William Herschel: les nébuleuses sont-elles soumises à des transformations progressives? la matière cosmique dont elles sont formées se condense-t-elle autour d'un ou de plusieurs noyaux, en obéissant aux lois de l'attraction? Une telle condensation de la matière nébuleuse devrait, en effet, donner lieu à une production de chaleur, aussi bien que le passage des corps de l'état fluide ou liquide à l'état solide ([76]). Mais s'il est établi, comme on le pense aujourd'hui et comme les importantes obser-

vations de lord Rosse et de Bond paraissent le prouver, que toutes les nébuleuses, y compris celles dont la puissance des plus grands télescopes n'a pu encore opérer la résolution, sont des amas d'étoiles excessivement serrées, cette croyance à une production de chaleur perpétuellement croissante doit être quelque peu ébranlée. Ne perdons point de vue toutefois d'autres considérations moins défavorables à cette thèse. De petits astres solides, dont l'agglomération produit, dans nos lunettes, l'effet d'une lueur continue, pourraient encore éprouver des variations de densité, à mesure qu'ils se relieraient à des masses plus grandes. En outre, des faits nombreux, constatés dans notre propre système solaire, conduisent à expliquer la formation des planètes et leur chaleur interne par le passage de l'état gazeux à l'état solide, et par la condensation progressive de la matière agglomérée en sphéroïdes.

Il doit paraître singulier, de prime abord, d'entendre parler de l'influence relativement *bienfaisante* que cette effroyable température de l'espace, inférieure au point de congélation du mercure, exerce d'une manière indirecte, il est vrai, sur les climats habitables de la Terre et sur la vie des animaux ou des plantes. Pour sentir la justesse de cette expression, il suffit cependant de réfléchir aux effets du rayonnement. La surface de la Terre, échauffée par le Soleil, et même l'atmosphère, jusqu'à ses couches supérieures, rayonnent librement vers le ciel. La déperdition de chaleur qui en résulte dépend, presque uniquement, de la différence de température entre les espaces célestes et les dernières couches d'air. Quelle énorme perte de chaleur n'aurions-nous donc pas à subir, par cette voie, si la température de l'espace, au lieu d'être de — 60°, se trouvait réduite à — 800°, par exemple, ou à mille fois moins encore ([77])!

Il nous reste à développer deux considérations relatives à l'existence d'un fluide qui remplirait l'univers. La première et la moins fondée repose sur la transparence imparfaite de l'espace. L'autre, qui est indiquée par les ré-

4

volutions régulièrement accourcies de la comète d'Encke, s'appuie sur des observations immédiates, et supporte le contrôle des nombres. A Brême, Olbers, et comme Struve l'a fait remarquer, quatre-vingts ans auparavant Louis de Chéseaux, à Genève ([78]), ont posé ce dilemme. Puisqu'on ne saurait imaginer, à cause de l'espace infini, un seul point de la voûte céleste qui ne doive nous présenter une étoile, c'est-à-dire un soleil, il faut admettre cette alternative : ou la voûte entière du ciel devrait nous paraître aussi éclatante que le Soleil, si la lumière parvient jusqu'à nous sans être affaiblie; ou bien, puisque le ciel est loin de présenter cet éclat, il faut attribuer à l'espace le pouvoir d'affaiblir la lumière en raison plus grande que le carré de l'éloignement. Or, comme la première alternative n'est point réalisée, comme nous ne voyons pas le ciel briller de cet éclat uniforme dont Halley argue aussi en faveur d'une autre hypothèse ([79]), il faut bien admettre dès lors, avec Chéseaux, Olbers et Struve, que l'espace n'est pas doué d'une transparence absolue. Les jauges stellaires de Sir William Herschel ([80]), et d'autres recherches ingénieuses du même observateur sur la force de pénétration de ses grands télescopes, paraissent démontrer que si, dans son trajet, la lumière de Sirius était affaiblie de 1/800 seulement, par l'interposition d'un milieu quelconque, cette simple hypothèse d'un fluide ou d'un éther, capable d'absorber à un si faible degré les rayons lumineux, suffirait à expliquer toutes les apparences actuelles. Parmi les doutes que le célèbre auteur des *Outlines of Astronomy* a opposés aux idées d'Olbers et de Struve, un des plus importants repose sur ce que son télescope de 6 mètres lui laisse voir, dans la plus grande partie de la Voie lactée, les plus petites étoiles projetées sur un *fond noir* ([81]).

J'ai dit déjà que la marche de la comète d'Encke et les résultats auxquels cette étude a conduit mon savant ami, pouvaient prouver, d'une manière plus directe et plus certaine, l'existence d'un fluide résistant ([82]). Mais il faut se représenter ce milieu comme étant d'une autre nature que

l'éther dont toute matière est pénétrée. Ce milieu, en effet, ne résiste que parce qu'il ne saurait tout pénétrer. Pour expliquer la diminution du temps périodique et du grand axe de l'ellipse décrite par cette comète, il faudrait une action, une *force tangentielle;* or l'hypothèse d'un fluide résistant est précisément celle où cette force se présente de la manière la plus naturelle ([83]). L'effet le plus sensible se fait sentir vingt-cinq jours avant et vingt-cinq jours après le passage de cette comète à son périhélie. Il y a donc quelque chose de variable dans cette résistance, et cette variabilité s'explique encore, puisque les couches extrêmement rares du milieu résistant doivent graviter vers le Soleil, et devenir de plus en plus denses dans le voisinage de cet astre. Olbers allait plus loin ([84]): il pensait que le fluide ne pouvait rester en repos; qu'il devait tourner autour du Soleil, d'un mouvement direct, et que la résistance opposée par ce fluide aux mouvements de la comète directe d'Encke devait être toute différente de l'effet produit sur ceux d'une comète rétrograde, comme celle de Halley. Mais quand il s'agit de comètes à longues périodes, le calcul des perturbations complique les résultats; d'ailleurs les différences de masse et de grandeur des comètes empêchent de distinguer la part qui revient à chaque influence.

Peut-être la matière nébuleuse qui forme l'anneau de la lumière zodiacale n'est-elle, suivant l'expression de Sir John Herschel, que la partie la plus dense de ce milieu dont la résistance se fait sentir sur la marche des comètes ([85]). Quand même il serait prouvé que les nébuleuses se réduisent toutes à de simples amas d'étoiles imparfaitement visibles, il n'en resterait pas moins établi, en fait, qu'un nombre immense de comètes abandonnent continuellement de la matière aux espaces célestes, par la dissipation de leurs énormes queues dont la longueur a pu atteindre et dépasser dix millions de myriamètres. En se fondant sur d'ingénieuses considérations optiques, Arago a montré ([86]) comment les étoiles variables qui nous envoient de la lu-

mière blanche, sans jamais montrer de coloration sensible dans leurs diverses phases, pourraient fournir un moyen de déterminer la limite supérieure de la densité probable de l'éther, en admettant, toutefois, que cet éther possédât un pouvoir réfringent, assimilable à ceux des gaz terrestres.

Cette théorie d'un milieu éthéré, remplissant l'univers, est intimement liée avec une autre question soulevée par Wollaston, sur la limite de l'atmosphère ([87]), limite dont la hauteur ne doit, en aucun cas, dépasser le point où l'élasticité spécifique de l'air fait équilibre à la pesanteur. Faraday a fait d'ingénieuses recherches sur la limite de l'atmosphère du mercure, déterminée par la hauteur à laquelle les vapeurs mercurielles cessent d'atteindre une feuille d'or et de s'y précipiter. Ces travaux ont ajouté quelque poids à l'hypothèse d'après laquelle la limite extrême de l'atmosphère serait nettement tracée, et « semblable à la surface de la mer. » Quelle que soit cette limite extrême, des substances analogues aux gaz et d'origine cosmique peuvent-elles pénétrer dans l'atmosphère, s'y mêler et réagir sur les phénomènes météorologiques? Newton a touché cette question et penchait pour l'affirmative ([88]).

S'il est permis de considérer les étoiles filantes et les pierres météoriques comme de véritables astéroïdes planétaires, on peut bien admettre aussi que pendant les apparitions de novembre ([89]), en 1799, 1833 et 1834, lorsque des myriades d'étoiles filantes, accompagnées d'aurores boréales, sillonnaient le firmament, l'atmosphère a dû recevoir des espaces célestes quelque chose d'étranger qui pût exciter en elle le développement de phénomènes électromagnétiques.

II.

VISION NATURELLE ET TÉLESCOPIQUE. — SCINTILLATION DES ÉTOILES. — VITESSE DE LA LUMIÈRE. — RÉSULTATS DES MESURES PHOTOMÉTRIQUES.

Depuis deux siècles et demi, la découverte du télescope a donné à l'œil, organe de la contemplation de l'univers, une puissance énorme pour pénétrer dans l'espace, étudier la forme des astres, et pousser l'investigation jusqu'aux propriétés physiques des planètes et de leurs satellites. La première lunette fut construite en 1608, sept ans après la mort du grand observateur Tycho. De nombreuses conquêtes, dues à cette invention, précédèrent l'application qu'on en fit aux instruments de mesure. On avait déjà découvert successivement les satellites de Jupiter, les taches du Soleil, les phases de Vénus, ce que l'on nommait alors la *triplicité* de Saturne, les amas télescopiques d'étoiles et la nébuleuse d'Andromède (90), lorsque l'astronome français Morin, déjà célèbre par ses travaux sur le problème des longitudes, eut l'idée de fixer une lunette à l'alidade d'un instrument destiné à mesurer des angles, et de chercher à voir Arcturus en plein jour (91). La rigueur qu'on a su donner depuis aux divisions des cercles a eu pour effet d'augmenter la précision des observations ; mais cet avantage eût été perdu si, par l'union des instruments optiques avec les appareils astronomiques, on n'eût porté au

même degré de perfection l'exactitude du pointé et celle de la mesure des angles. Six ans plus tard, en 1640, le jeune et habile Gascoigne vint compléter cette découverte et lui donner toute sa valeur propre, en tendant au foyer de la lunette un réticule formé de fils déliés (92).

Ainsi l'application du télescope à l'art de voir et de mesurer ne comprend point au delà des 240 dernières années de l'histoire des sciences astronomiques. En excluant l'époque chaldéenne, celle des Égyptiens et des Chinois, il reste encore plus de dix neuf siècles, comptés depuis Aristille et Timocharis (93) jusqu'à la découverte de Galilée, pendant lesquels la position et le cours des astres ont été constamment observés à l'œil nu. Quand on considère les nombreuses perturbations dont le progrès des idées eut à souffrir, durant cette longue période, chez les peuples qui habitèrent les rivages du bassin méditerranéen, on s'étonne de tout ce qu'ont vu Hipparque et Ptolémée sur la précession des équinoxes, les mouvements compliqués des planètes, les deux principales inégalités de la Lune et les lieux des étoiles; de tout ce que Copernic a découvert touchant le vrai système du monde; de tout ce que Tycho a pu entreprendre, pour restaurer l'astronomie pratique et perfectionner ses méthodes; on s'étonne, dis-je, que tant de travaux et de progrès aient précédé la découverte de la *vision télescopique.* A la vérité, de longs tuyaux, employés peut-être par les anciens et dont certainement les Arabes se sont servis pour pointer à travers les dioptres ou les fentes de leurs alidades, ont pu jusqu'à un certain point améliorer les observations. Aboul-Hassan parle, en termes extrêmement nets, de tuyaux à l'extrémité desquels on fixait les dioptres oculaires et objectives, et l'on retrouve aussi cette disposition en usage à Meragha, où un observatoire avait été fondé par Houlagou. Comment ces tubes aidaient-ils l'œil à trouver les étoiles dans le crépuscule, et à les discerner plus tôt et plus aisément? c'est ce dont une remarque d'Arago va nous rendre compte. Ces tuyaux suppriment une grande partie de la lumière diffuse émanée des couches

atmosphériques qui se trouvent entre l'œil et l'astre observé ; même pendant la nuit, ils protégent l'œil contre l'impression latérale que produisent les particules d'air faiblement éclairées par l'ensemble des astres du firmament. Aussi l'intensité de l'image lumineuse et les dimensions apparentes des étoiles sont-elles alors sensiblement agrandies. Dans un passage souvent corrigé et controversé, où Strabon parle de la vision à travers des tuyaux, il est question de « la figure amplifiée des astres. » C'est à tort, évidemment, qu'on a cru trouver dans ces mots une allusion quelconque aux effets des instruments réfracteurs (94).

Quelle que soit la source d'où vienne la lumière, qu'elle ait été lancée directement par le Soleil ou réfléchie par les planètes, qu'elle émane des étoiles ou du bois pourri, ou de l'activité vitale des vers luisants, toujours elle obéit de la même manière aux lois de la réfraction (95). Mais si des lumières d'origines diverses, provenant par exemple du Soleil et des étoiles, sont soumises à l'analyse prismatique, elles présentent des différences dans la position de ces raies obscures que Wollaston découvrit dans le spectre solaire, en 1808, et dont Fraunhofer détermina la position, douze ans plus tard, avec tant d'exactitude. Fraunhofer avait compté 600 de ces raies obscures, qui sont, à proprement parler, des lacunes, des interruptions, des parties manquantes dans le spectre. Leur nombre s'est élevé à plus de 2000 dans les belles recherches que Sir David Brewster fit, en 1833, à l'aide de l'oxide d'azote. On avait remarqué que certaines raies manquent dans le spectre solaire à certaines époques de l'année; mais Brewster a montré comment ce phénomène dépend de la hauteur du Soleil, et peut s'expliquer par l'absorption variable que l'atmosphère exerce sur les rayons lumineux.

On a reconnu, comme on devait s'y attendre, toutes les particularités du spectre solaire dans les spectres formés avec la lumière de même origine, que la Lune, Vénus, Mars ou les nuages réfléchissent vers nous. Au contraire, les raies du spectre de Sirius diffèrent de celles du Soleil et des

autres étoiles. Castor présente d'autres raies que Pollux et Procyon. Amici a confirmé ces différences, déjà signalées par Fraunhofer ; il a fait, de plus, la remarque ingénieuse, que les raies noires du spectre diffèrent, même chez les étoiles dont la lumière est actuellement du *blanc* le moins contestable. Voici donc un vaste champ ouvert aux investigations de l'avenir ([96]), puisqu'il reste encore à discerner, dans les faits acquis, la part qui peut revenir aux actions étrangères, à l'action absorbante de l'atmosphère, par exemple.

Il faut mentionner ici un autre phénomène, où les propriétés essentielles de la lumière exercent une influence considérable. La lumière des corps solides rendus lumineux par la chaleur, et celle de l'étincelle électrique présentent de grandes différences dans le nombre et la position des raies de Fraunhofer. Ces différences ne s'arrêtaient point là : d'après les remarquables recherches que Wheatstone a faites, à l'aide de son miroir tournant, sur la vitesse de la lumière née de l'électricité de frottement, cette vitesse serait à celle de la lumière solaire dans le rapport de 3 à 2, puisqu'elle a été évaluée à 4600 myriamètres par seconde.

Malus avait été conduit, dans l'année 1808, à la découverte de la polarisation ([97]), en méditant un phénomène que lui avaient accidentellement présenté les rayons du Soleil couchant, réfléchis par les fenêtres du palais du Luxembourg. Cette découverte pénétra bientôt comme d'une vie nouvelle toutes les parties de l'optique. Là est le germe de ces profondes recherches sur la double réfraction, la polarisation ordinaire (celle d'Huyghens) et la polarisation chromatique, dont les résultats féconds donnèrent à l'observateur le moyen de distinguer la lumière directe de la lumière réfléchie ([98]), de pénétrer le secret de la constitution du Soleil et de ses enveloppes lumineuses ([99]), de mesurer les plus faibles nuances de la pression et de l'hygrométricité des couches d'air, de discerner les écueils au fond de la mer, à l'aide d'une simple plaque de tourmaline ([100]),

et même de prévoir, à l'exemple de Newton, la composition chimique de certaines substances, d'après leurs propriétés optiques ([1]). Il suffit de citer les noms de : Airy, Arago, Biot, Brewster, Cauchy, Farady, Fresnel, John Herschel, Lloyd, Malus, Neumann, Plateau, Seebeck, pour rappeler au lecteur une série de découvertes brillantes et les heureuses applications auxquelles elles ont donné naissance. La voie était frayée, d'ailleurs, et ce n'est peut-être pas assez dire, par les travaux d'un homme de génie, Thomas Young. Le polariscope d'Arago et l'observation des franges de diffraction colorées, résultant de l'interférence, sont devenus un moyen usuel d'investigation ([2]). Sur cette voie nouvelle et féconde, la météorologie n'a pas fait moins de progrès que la partie physique de l'astronomie.

Quelles que soient les différences que présente la force de la vue parmi les hommes, il y a pourtant là une certaine moyenne d'aptitude organique, moyenne qui est restée sensiblement la même dans la race humaine, depuis les anciens temps de la Grèce et de Rome. Les étoiles des Pléiades témoignent de cette invariabilité, en montrant que les étoiles estimées de 7e grandeur par les astronomes échappaient, il y a des milliers d'années comme aujourd'hui, aux vues de portée ordinaire. Le groupe des Pléiades comprend : une étoile de 3e grandeur, Alcyone ; deux de 4e, Electre et Atlas ; trois de 5e, Mérope, Maia et Taygète ; deux de 6e à 7e grandeur, Pléione et Céléno ; une de 7e à 8e grandeur, Astérope, et un grand nombre de très-petites étoiles télescopiques. Je me sers ici des dénominations actuelles, car, chez les anciens, les mêmes noms ne s'appliquaient pas tous aux mêmes étoiles. On ne distingue aisément que les six premières étoiles de 3e, 4e et 5e grandeur ([3]) : Quæ septem dici, sex autem esse solent, dit Ovide (Fast. IV, 170). On supposait que Mérope, une des filles d'Atlas, la seule qui eût épousé un mortel, s'était voilée par honte, ou même avait complètement disparu. C'était probablement l'étoile de 6e à 7e grandeur, aujourd'hui nommée Céléno ; car Hipparque fait remarquer, dans son Com-

mentaire sur Aratus, que l'on distingue effectivement sept étoiles, par des nuits pures et sans lune. On voyait donc alors Céléno. Quant à l'autre étoile d'égale grandeur, Pléione, elle se trouve trop voisine d'Atlas qui est de 4e grandeur.

La petite étoile Alcor, placée, d'après Triesnecker, à 11′ 48″ de distance de Mizar, dans la queue de la Grande-Ourse, est de 5e grandeur, selon Argelander; mais elle est comme éclipsée par l'éclat de Mizar. Les Arabes l'avaient nommée *Saidak*, c'est-à-dire l'épreuve, parce que « l'on s'en servait pour éprouver la portée de la vue ; » ce sont les propres termes de Kazwini, astronome persan (4). Sous les tropiques, je voyais chaque soir Alcor à l'œil nu, malgré la faible hauteur de la Grande-Ourse; mais j'étais alors sur la côte sans pluie de Cumana, ou sur les plateaux des Cordillères, à 4000 mètres au dessus du niveau de la mer. J'ai rarement réussi à voir cette étoile, soit en Europe, soit dans les steppes du nord de l'Asie où l'air est si sec, et encore n'étais-je pas sûr de la reconnaître. Suivant une remarque fort juste de Mædler, la limite de distance à partir de laquelle deux étoiles ne peuvent plus être distinguées l'une de l'autre à l'œil nu, dépend de leur éclat relatif. Par exemple, l'œil sépare sans peine les deux étoiles de 3e et 4e grandeur, désignées sous le nom de α du Capricorne ; leur distance mutuelle est de 6 minutes et demie. Quand l'air est très-pur, Galle croit encore distinguer à l'œil nu ε et la 5e de la Lyre dont la distance est de 3 minutes et demie, et cela, parce que ces étoiles sont toutes deux de 4e grandeur. Au contraire, si les satellites de Jupiter sont invisibles à l'œil nu, il faut en chercher la raison principale dans la supériorité d'éclat de la planète. Ajoutons, malgré des affirmations contraires, que ces satellites ne peuvent pas être tous assimilés, pour l'éclat, à des étoiles de 5e grandeur. De nouvelles comparaisons, faites par mon ami le docteur Galle avec des étoiles voisines, ont prouvé que le troisième satellite, c'est-à-dire le plus brillant, est tout au plus de 5e à 6e grandeur, et que les autres, dont la lumière est variable, oscillent entre le 6e et le 7e ordre d'é-

clat. On peut citer pourtant des exemples isolés de personnes qui ont vu sans lunette, les satellites de Jupiter, mais ces personnes étaient douées d'une vue extraordinaire, elles pouvaient distinguer à l'œil nu les étoiles inférieures à la 6e grandeur. La distance angulaire du plus brillant satellite (le troisième) au centre de la planète est de 4′ 42″; celle du quatrième est de 8′ 16″. Souvent ces satellites ont plus d'éclat que la planète, à égalité de surface (5); quelquefois, au contraire, ils paraissent, d'après des observations plus récentes, comme des taches grises sur le disque de Jupiter.

On peut évaluer à 5 ou 6 minutes la longueur des rayons qui paraissent émaner des planètes ou des étoiles, quand on les regarde à l'œil nu. Ces queues ou rayons divergents, qui servirent, de tout temps et surtout chez les Égyptiens, à symboliser les astres, ne seraient rien autre, d'après Hassenfratz, que les caustiques du cristallin formées par les rayons réfractés. « L'image d'une étoile perçue à l'œil nu est agrandie par ces rayons parasites; elle occupe sur la rétine une place plus grande que le simple point où sa lumière devrait se concentrer, et l'impression nerveuse en est affaiblie. Un amas d'étoiles très-serrées, dans lequel les étoiles composantes sont individuellement au-dessous de la 7e grandeur, peut être au contraire visible à l'œil nu, parce que les images dilatées de ces nombreux points stellaires empiétant les unes sur les autres, les divers points de la rétine se trouvent ébranlés plus fortement (6). »

Par malheur, les lunettes et les télescopes donnent aussi aux étoiles un diamètre factice, quoiqu'à un bien moindre degré. Les belles recherches de William Herschel nous ont appris que ces diamètres factices diminuent, lorsqu'on augmente le grossissement (7); par exemple, le diamètre apparent de Véga de la Lyre se trouvait réduit à 0″, 36 quand ce célèbre observateur appliquait à son télescope l'énorme grossissement de 6500 fois. S'il s'agit, non pas d'étoiles et de télescopes, mais d'objets terrestres vus à l'œil nu, l'intensité de la lumière émise n'est plus le seul élément dont

il faille tenir compte, pour apprécier le degré de visibilité : d'autres conditions interviennent, telles que la grandeur de l'angle visuel et la forme même de l'objet. Ainsi Adams a remarqué, avec beaucoup de justesse, qu'une verge longue et étroite est visible de beaucoup plus loin qu'un carré d'égale largeur ; de même un trait se voit de plus loin qu'un simple point, toutes choses égales d'ailleurs. Arago s'est longtemps occupé, à l'Observatoire de Paris, de rechercher jusqu'à quel degré la forme et les contours des objets influent sur leur visibilité ; il mesurait, dans ce but, les petits angles visuels soutendus par des tiges de paratonnerres très-éloignés. Mais quand on a voulu déterminer l'angle limite au delà duquel la perception cesse, je veux dire le plus petit angle sous lequel on puisse encore distinguer un objet terrestre, les mesures n'ont pu aboutir à un résultat définitif. Robert Hooke évaluait cet angle-limite à une minute entière. Tobie Mayer assignait 34″ pour le cas d'une tache noire sur un papier blanc. Leeuwenhoek affirmait qu'un fil d'araignée était encore visible, pour une vue très-ordinaire, sous un angle de 4″, 7. On voit que la limite a toujours été en baissant. Dans une série de recherches instituées récemment par Hueck, pour étudier les mouvements du cristallin, on a pu distinguer des traits blancs sur un fond noir, lorsque l'angle visuel était réduit à 1″, 2 ; un fil d'araignée a été vu sous un angle de 0″, 6, et un fil métallique brillant sous un angle de 0″, 2 à peine. Le problème n'est point susceptible d'une solution numérique uniformément applicable à tous les cas ; tout dépend de la forme et de l'illumination des objets, de l'effet de contraste produit par le fond sur lequel ils se détachent, et même de la nature des couches d'air, de leur calme ou de leur agitation.

Je puis citer à ce sujet la vive impression qu'un phénomène de ce genre produisit sur moi, à Quito, en face du Pichincha. J'étais dans une délicieuse villa du marquis de Selvalegre, à Chillo, d'où l'on voyait se dérouler les croupes allongées du volcan, à une distance horizontale de

28000 mètres mesurée trigonométriquement. A l'aide des lunettes de nos instruments, nous cherchions à voir mon compagnon de voyage Bonpland, qui avait alors entrepris tout seul une expédition vers le volcan. Les Indiens placés près de moi le reconnurent avant nous ; ils signalèrent un point blanc en mouvement, le long des basaltes noirâtres qui formaient les flancs de la montagne. Bientôt je pus, à mon tour, distinguer à l'œil nu cette image blanche et mobile, et le fils du marquis de Selvalegre, Carlos Montufar, qui devait périr plus tard victime de la guerre civile, y réussit également. Bonpland portait, en effet, une sorte de manteau blanc en coton, usité dans le pays (le poncho). Comme ce manteau flottait par moments, j'estime que sa largeur, prise vers les épaules, pouvait varier entre 1^m et $1^m,6$; et comme d'ailleurs la distance est bien connue par mes mesures, il est facile de calculer l'angle visuel : on trouve ainsi que l'objet mobile était vu nettement, à l'œil nu, sous un angle de 7″ à 12″. Au reste, on sait, par les expériences réitérées de Hueck, que des objets blancs sur un fond noir se voient de plus loin que des objets noirs sur un fond blanc. Pendant l'observation que je viens de rapporter, le ciel était pur, et les rayons de lumière, partant de la région occupée par Bonpland, à 4682 mètres au-dessus du niveau de la mer, traversaient des couches d'air peu denses, pour arriver à notre station de Chillo, dont la hauteur était elle-même de 2614 mètres. La distance réelle des deux stations était de 27805 mètres ou de 7 lieues environ. Les indications du thermomètre et du baromètre différaient beaucoup d'une station à l'autre : en bas, l'observation exacte donna $564^{mm},41$ et 18°,7 ; en haut nous aurions trouvé probablement $437^{mm},6$ et 8°. L'héliotrope de Gauss, dont les Allemands ont tiré un si grand parti dans leurs mesures géodésiques, va nous fournir un dernier exemple de visibilité à grande distance. La lumière du Soleil, dirigée héliotropiquement des sommets du Brocken sur ceux du Hohenhagen, fut vue à l'œil nu, à cette ernière station, malgré une distance de 69000 mètres (plus

de 17 lieues). Dans d'autres cas moins extrêmes, on a distingué souvent ce genre de signaux, sans recourir aux lunettes lorsque l'angle soutendu par le miroir de l'héliotrope (81 millimètres de largeur) était réduit à 0″, 43.

Parmi les causes nombreuses d'origine météorologique, encore mal expliquées en général, qui modifient profondément la visibilité des objets éloignés, il faut distinguer l'absorption qui s'opère dans le trajet du rayon lumineux à travers des couches atmosphériques plus ou moins denses, plus ou moins chargées d'humidité, et surtout l'illumination du champ de vision par la lumière diffuse que les particules de l'air réfléchissent vers l'œil. On sait, par les travaux anciens mais toujours si exacts de Bouguer, qu'une différence d'éclat de 1/60 est nécessaire pour la visibilité. Aussi ne voyons-nous que par *vision négative*, suivant son expression, les sommets obscurs des montagnes qui se détachent comme des masses sombres sur la voûte du ciel. Si nous les apercevons, c'est en vertu seulement de la différence d'épaisseur des couches d'air qui s'étendent jusqu'à l'objet et jusqu'à l'extrême limite de l'horizon visible. C'est par *vision positive*, au contraire, que nous distinguons au loin des objets brillants, comme des cimes couvertes de neige, des rochers calcaires blancs ou des cônes volcaniques formés de pierre ponce. Il n'est pas sans intérêt pour l'art nautique de fixer la distance à laquelle on peut reconnaître, en mer, les cimes de certaines montagnes très-élevées : on pourrait en tirer parti pour déterminer la position du navire quand les observations astronomiques font défaut. J'ai traité ailleurs cette question avec quelque développement, au sujet de la visibilité du pic de Ténériffe ([8]).

La question de savoir si les étoiles peuvent être vues en plein jour, à l'œil nu, soit dans les puits de mine très-profonds, soit sur le sommet de montagnes très-élevées, a été un des objets de mes recherches, depuis ma première jeunesse. Aristote a dit, je ne l'ignorais point, que les étoiles se voient quelquefois en plein jour, quand on les cher-

che du fond des citernes ou des cavernes, comme à travers un tuyau ([9]). Pline aussi a rapporté ce dire; il cite à l'appui les étoiles qu'on a pu reconnaître distinctement pendant des éclipses de Soleil. A l'époque où je m'occupais de travaux métallurgiques, j'ai passé, durant des années entières, une grande partie du jour dans les galeries et dans les puits de mine, d'où je m'efforçais, mais en vain, de distinguer quelque étoile au zénith. Même insuccès au Mexique, au Pérou, en Sibérie. Jamais je n'ai rencontré dans les mines de ces pays un seul homme qui eût entendu parler d'étoiles vues en plein jour; et pourtant, si on songe aux latitudes si diverses par lesquelles j'ai pu descendre sous terre, dans l'un et l'autre hémisphère, on comprendra que ce ne sont ni les circonstances favorables ni les étoiles qui ont manqué au zénith. Ces faits négatifs rendent encore plus singulier, à mes yeux, le témoignage, d'ailleurs parfaitement digne de confiance, d'un opticien célèbre qui avait vu dans sa jeunesse une étoile en plein jour par le tuyau d'une cheminée ([10]). Quand des phénomènes exigent, pour leur manifestation, le concours fortuit de circonstances exceptionnellement favorables, il faut bien se garder d'en nier la réalité par la seule raison qu'ils sont rares.

Ce principe peut être appliqué, à mon avis, à un autre fait rapporté par Saussure, dont les assertions ont toujours tant de poids. Je veux parler de la possibilité de voir les étoiles en plein jour du haut d'une montagne très-élevée, comme le Mont-Blanc, par exemple, à la hauteur de 3888 mètres. « Quelques-uns des guides m'ont assuré, » dit le célèbre investigateur des Alpes, « avoir vu des étoiles en plein jour; pour *moi*, je n'y songeais pas, en sorte que je n'ai point été le témoin de ce phénomène; *mais l'assertion uniforme des guides ne me laisse aucun doute sur la réalité* ([11]). Il faut d'ailleurs être entièrement à l'ombre, et avoir même au-dessus de la tête une masse d'ombre d'une épaisseur considérable, sans quoi l'air trop fortement éclairé fait évanouir la faible clarté des étoiles. » Les conditions de visibilité seraient ainsi à peu près identiques à celles

que présentaient naturellement les citernes des anciens ou la cheminée dont je viens de parler. Je n'ai rien pu trouver d'analogue à cette assertion mémorable (datée du 2 août 1787 au matin), dans les autres Voyages à travers les Alpes suisses. Les frères Hermann et Adolphe Schlagintweit, très-instruits tous deux et bons observateurs, ont parcouru, il y a peu de temps, les Alpes orientales jusqu'au sommet du Grand-Clocher (3967 mètres), sans avoir jamais pu distinguer des étoiles en plein jour, ni trouver trace d'un fait pareil dans les dires des bergers ou des chasseurs de chamois. J'ai moi-même passé plusieurs années dans les Cordillères de Mexico, de Quito et du Pérou; je me suis trouvé souvent avec Bonpland à des hauteurs de plus de 4500 ou 5000 mètres, par le plus beau ciel du monde, et jamais je n'ai pu voir d'étoile en plein jour, pas plus que mon ami Boussingault n'en a vu plus tard dans les mêmes circonstances. Pourtant le bleu du ciel était si sombre, si profond, que mon cyanomètre de Paul, à Genève, le même où Saussure lisait 39° sur le Mont-Blanc, m'indiquait entre les tropiques 46° pour la région zénithale du ciel, par une hauteur comprise entre 5200 et 5800 mètres ([12]). Au contraire, sous le ciel magnifique et pur comme l'éther de Cumana, dans les plaines du littoral, il m'est arrivé plus d'une fois, après avoir observé des éclipses des satellites de Jupiter, de retrouver la planète à l'œil nu, et de la voir de la manière la plus distincte, quand le disque du soleil était déjà monté à 18° ou 20° au-dessus de l'horizon.

C'est ici le lieu d'indiquer un autre phénomène optique dont mes nombreuses ascensions de montagnes ne m'ont offert qu'un seul exemple. C'était le 22 juin 1799, sur le versant du pic de Ténériffe, au Malpays; je me trouvais, quelque temps avant le lever du Soleil, à une hauteur d'environ 3475 mètres au-dessus du niveau de la mer: je vis à l'œil nu les étoiles basses agitées en apparence d'un mouvement bien singulier. Des points brillants paraissaient monter d'abord, se mouvoir ensuite latéralement et retomber à leur place première. Ce phénomène dura seu-

lement 7 ou 8 minutes, et cessa longtemps avant le lever du Soleil à l'horizon de la mer. Il était parfaitement visible avec une lunette, et tout examen fait, je ne pus douter que ce ne fussent les étoiles elles-mêmes qui se mouvaient ainsi ([13]). Ces apparences proviennent-elles de la réfraction latérale sur laquelle on a tant discuté? Y a-t-il là quelque analogie avec les déformations ondulatoires que le bord vertical du Soleil présente si souvent à son lever, quelque petites d'ailleurs que ces déformations puissent être, quand on en vient aux mesures? Quoi qu'il en soit, le voisinage de l'horizon ne peut qu'agrandir ces mouvements latéraux, par suite de l'illusion optique bien connue. Chose singulière, le même phénomène a été remarqué un demi-siècle après, juste au même endroit et avant le lever du Soleil, par un observateur très-instruit et très-attentif, le prince Adalbert de Prusse, qui l'a examiné pareillement à l'œil nu et avec l'aide d'une lunette. J'ai retrouvé son observation dans son journal manuscrit; elle y avait été consignée pendant le voyage même. Ce fut seulement en revenant de son expédition au fleuve des Amazones, que le prince put savoir que j'avais été témoin des mêmes apparences ([14]). Jamais je n'ai trouvé la moindre trace de réfraction latérale, ni sur les versants de la chaîne des Andes, ni même dans les plaines brûlantes de l'Amérique du Sud (les Llanos), où les couches d'air inégalement échauffées se mélangent de tant de façons diverses, et produisent si souvent le phénomène du mirage. Le pic de Ténériffe est plus près de nous; souvent il est visité par des voyageurs munis d'instruments de mesure; on peut donc espérer que le phénomène curieux dont je viens de parler ne sera pas oublié dans les recherches scientifiques.

Il est digne de remarque, ai-je dit déjà, que les fondements de l'astronomie proprement dite, celle du monde planétaire, aient précédé l'époque mémorable (1608 et 1610) où la vision télescopique a été découverte et appliquée à l'étude du ciel. A force de travaux et de soins, George Purbach, Regiomontanus (Jean Müller) et Bernard Walther,

de Nurenberg, avaient augmenté le trésor de la science, héritage des Grecs et des Arabes. Bientôt parut le système de Copernic, développement d'idées hardies et grandioses. Puis vinrent les observations si exactes de Tycho, et les audacieuses combinaisons de Képler, aidées de la plus opiniâtre puissance de calcul qui fut jamais. Deux grands hommes, Képler et Galilée, personnifient cette phase décisive de l'histoire, où la science des mesures abandonne l'observation antique, déjà perfectionnée, mais toujours faite à la simple vue, pour recourir à la vision télescopique. Galilée avait alors 44 ans et Képler 37: Tycho, le plus grand astronome observateur de cette grande époque, était mort depuis sept ans. J'ai rappelé dans le volume précédent (p. 279) que les trois lois de Képler, ses titres aujourd'hui irrécusables à l'immortalité, n'avaient pas valu à leur auteur un seul éloge de ses contemporains, pas même de Galilée. Trouvées d'une manière purement empirique, mais plus fécondes pour l'ensemble de la science que la découverte d'astres nouveaux, ces trois lois appartiennent tout à fait à l'époque de la vision naturelle, c'est-à-dire à l'époque tychonienne; elles dérivent même des propres observations de Tycho Brahé, quoique l'impression de l'*Astronomia nova, seu Physica cœlestis de motibus stellæ Martis* n'ait été achevée qu'en 1609, et que la troisième loi, en vertu de laquelle les carrés des temps de la révolution des planètes sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites, n'ait été exposée qu'en 1619, dans l'*Harmonice Mundi.*

Le commencement du XVII[e] siècle, où s'opéra le passage de la vision naturelle à la vision télescopique, a été plus important pour l'astronomie et la connaissance du ciel que l'an 1492 pour celle du globe terrestre. Par là se sont agrandies, presqu'à l'infini, la sphère de nos recherches et la portée du coup d'œil qu'il nous est donné de jeter sur la création; par là ont été incessamment soulevés de nouveaux problèmes, dont la solution difficile a provoqué, dans les sciences mathématiques, un développement sans égal. Renforcer un des organes de nos sens revient donc parfois à

renforcer l'intelligence, à étendre le cercle des idées, à ennoblir l'humanité. En moins de deux siècles et demi, nous avons dû au télescope seul la découverte de 13 planètes nouvelles et de 4 systèmes de satellites (4 lunes pour Jupiter, 8 pour Saturne, 4 et peut-être 6 pour Uranus, 1 pour Neptune), la découverte des taches et des facules du Soleil, celle des phases de Vénus. On a pu étudier la forme et mesurer la hauteur des montagnes lunaires, voir et expliquer les taches hibernales des pôles de Mars, les bandes de Jupiter et de Saturne, ainsi que l'anneau qui entoure cette dernière planète. On a découvert successivement les comètes intérieures ou planétaires à courte période, et un nombre immense d'autres phénomènes dont l'œil désarmé ne nous aurait rien appris. Mais ce n'est pas tout : si notre système solaire a reçu en 240 années de tels agrandissements, après être resté pendant tant de siècles restreint, en apparence, à 6 planètes et à une lune unique, le ciel sidéral a gagné plus encore, et là surtout les découvertes ont dépassé toute attente. Des nébuleuses, des étoiles doubles ont été comptées et classées par milliers. Les mouvements propres de toutes les étoiles nous ont enseigné celui de notre propre soleil. Les mouvements relatifs des étoiles doubles qui circulent autour de leur centre de gravité commun, ont prouvé que les lois de la gravitation sont obéies dans ces régions reculées de l'univers, aussi bien que dans l'espace plus étroit où se meuvent nos planètes. Depuis que Morin et Gascoigne ont adapté les lunettes aux instruments de mesure, l'art de fixer dans le ciel les positions apparentes des astres a atteint un degré de précision inouï. Grâce à cet artifice, il a été possible de mesurer, à une petite fraction près de la seconde d'arc, l'ellipse d'aberration des fixes, leur parallaxe, la distance mutuelle des étoiles composantes de chaque système binaire. C'est ainsi que l'astronomie s'est élevée progressivement de la conception du système solaire à celle d'un véritable système de l'univers.

On sait que Galilée fit sa découverte des lunes de Jupiter avec un grossissement de 7 fois, et qu'il n'a jamais pu

dépasser celui de 32 fois. Cent soixante-dix ans plus tard, nous voyons Sir William Herschel employer des grossissements de 6500 fois dans ses recherches sur les diamètres apparents d'Arcturus et de Véga de la Lyre. A partir du milieu du XVIIe siècle, tous les efforts se tournèrent vers la construction des longues lunettes. Ce fut, il est vrai, avec une lunette de 4 mètres seulement que Huyghens découvrit, en 1655, le premier satellite de Saturne (Titan, le sixième dans l'ordre des distances au centre de la planète); mais, un peu plus tard, les lunettes qu'il dirigeait vers le ciel avaient 40 mètres. Constantin Huyghens, frère du célèbre astronome, construisit trois objectifs de 41, 55 et 68 mètres de longueur focale, que la Société royale de Londres possède encore. Toutefois, on s'était borné à essayer ces objectifs sur des objets terrestres; Huyghens le dit expressément ([15]). Auzout construisit, dès 1665, des lunettes gigantesques sans tuyaux, dans lesquelles, par conséquent, l'oculaire n'était relié à l'objectif par aucun intermédiaire solide et fixe. Il acheva, dans ce système, un objectif de 97 mètres de foyer, capable de porter un grossissement de 600 fois ([16]). Ce furent des objectifs de ce genre, taillés par Borelli, Campani, Hartsoeker, et fixées à des mâts, qui servirent si utilement la science entre les mains de Dominique Cassini; ils lui permirent de découvrir l'un après l'autre le huitième, le cinquième, le quatrième et le troisième satellite de Saturne. Les objectifs d'Hartsoeker avaient 81 mètres de distance focale. J'ai bien souvent tenu entre mes mains, pendant mon séjour à l'Observatoire de Paris, ceux de Campani qui étaient en grande réputation sous le règne de Louis XIV; et quand je songeais à la faiblesse des satellites de Saturne, à la difficulté de manœuvrer de grands appareils composés de mâts et de cordages ([17]), je ne pouvais admirer assez l'habileté et la courageuse persévérance des observateurs de cette époque.

Les avantages qu'on croyait alors forcément attachés à des dimensions gigantesques conduisirent de grands esprits à concevoir de ces espérances démesurées dont l'histoire

des sciences nous offre tant d'exemples. Ainsi Hooke a proposé de construire une lunette de 10000 pieds (plus de 3 kilomètres) afin de voir des animaux dans la Lune : Auzout a même cru devoir combattre cette idée ([18]). On ne tarda pas à sentir combien ces instruments devenaient incommodes dans la pratique, quand leur longueur focale dépassait 30 mètres ; aussi Newton s'efforça-t-il, après Mersenne et James Gregory, d'Aberdeen, de populariser en Angleterre les télescopes beaucoup plus courts qui opèrent par réflexion. Bradley et Pound comparèrent avec soin les effets d'un télescope à miroir de Hadley, dont la distance focale ne dépassait pas 1^{m}, 6, avec ceux du réfracteur de 41 mètres, construit par Constantin Huyghens et dont il a été fait mention plus haut : tout l'avantage resta au premier instrument. Alors les coûteux télescopes de Short se répandirent de tous côtés ; ils régnèrent sans partage, jusqu'à l'époque (1759) où John Dollond eut le bonheur de découvrir la solution pratique du problème de l'achromatisme, posé par Léonard Euler et par Klingenstierna et rendit ainsi aux lunettes une grande supériorité. Disons ici que les droits de priorité incontestables du mystérieux Chester More Hall, du comté d'Essex (1729), étaient inconnus du public, lorsque Dollond obtint un brevet pour ses lunettes achromatiques ([19]).

Mais cette victoire des réfracteurs ne fut pas de longue durée. Dix-huit ou vingt ans s'étaient à peine écoulés depuis que Dollond avait enseigné à réaliser l'achromatisme, par la combinaison de lentilles formées de crown et de flint, et déjà les idées se modifiaient sous la juste impression d'étonnement que les travaux immortels d'un Allemand, William Herschel, produisirent en Angleterre et sur le continent. Il avait construit un grand nombre de télescopes de 7 pieds anglais (2 mètres) et de 20 pieds (6 mètres) de longueur focale, dont on pouvait porter les grossissements à 2200 et même à 6000 fois ; il en construisit un de 40 pieds (12^{m}, 2). Ce fut avec ce dernier télescope qu'il découvrit les deux satellites intérieurs de Saturne ; le

deuxième d'abord, qu'on a nommé depuis Encelade, et bientôt après Mimas, le plus voisin de l'anneau. Mais c'est au télescope de 7 pieds qu'appartient la découverte d'Uranus, faite en 1781. Les satellites si faibles de cette planète furent vus, en 1787, à l'aide du télescope de 20 pieds, disposé pour la vue de front (*front-view*) ([20]). La perfection supérieure que ce grand homme sut donner aux miroirs de ses télescopes, l'ingénieuse disposition grâce à laquelle les rayons lumineux ne sont réfléchis qu'une fois, et surtout une série non interrompue de quarante ans de veilles et de travaux, ont porté la lumière dans toutes les branches de l'astronomie physique, dans le monde des planètes, aussi bien que dans celui des nébuleuses et des étoiles doubles.

Le long règne des télescopes réflecteurs devait avoir un terme. Dès les cinq premières années du XIXe siècle, il s'établit entre les constructeurs de lunettes achromatiques une heureuse rivalité de progrès et de perfection. Alors furent créées ces grandes machines parallactiques, où des horloges font mouvoir les plus longues lunettes, avec la régularité des mouvements célestes. Il fallait un flint parfaitement homogène et sans stries, pour les objectifs d'une grandeur extraordinaire qu'on demandait déjà aux constructeurs. Ce flint fut fabriqué avec succès en Allemagne, dans l'établissement d'Utzschneider et de Fraunhofer, auxquels succédèrent Merz et Mahler. En Suisse et en France, les ateliers de Guinand et de Bontems fournirent cette précieuse matière aux travaux de Lerebours et de Cauchoix. Il suffit ici de jeter un rapide coup d'œil sur l'histoire de ces progrès, et de citer comme exemples : les grands réfracteurs construits, sous la direction de Fraunhofer, pour les observatoires de Dorpat et de Berlin, qui tous deux ont 24 centimètres d'ouverture et 4m, 4 de distance focale ; les réfracteurs construits par Merz et Mahler pour Poulkova, en Russie, et pour Cambridge, aux États-Unis ([21]), qui ont l'un et l'autre 38 centimètres d'ouverture et 6m, 8 de foyer ; enfin l'héliomètre de l'observatoire de Kœnigsberg, dont l'objectif a 16 centimètres d'ouverture. Ce dernier instru-

ment, que les travaux de Bessel ont immortalisé, est longtemps resté le plus grand de son espèce. Citons encore les lunettes dialytiques, si courtes et pourtant si puissantes de clarté, que Plössel a construites le premier, à Vienne, et dont Rogers, en Angleterre, avait reconnu presqu'en même temps les avantages : elles méritent assurément qu'on essaye de les construire sur de grandes dimensions.

A cette même époque, dont j'esquisse ici les travaux, parce qu'ils ont exercé une grande influence au point de vue cosmique, les progrès de la mécanique suivirent de près ceux de l'optique et de l'horlogerie. Les instruments de mesure furent successivement perfectionnés, surtout les micromètres, les cercles méridiens et les secteurs zénithaux. Parmi tant de noms distingués dans cette carrière, je rappellerai ici ceux de Ramsden, de Troughton, de Fortin, de Reichenbach, de Gambey, d'Ertel, de Steinheil, de Repsold, de Pistor, d'Oertling..... pour les instruments de mesure. Pour les chronomètres et les pendules astronomiques, je citerai Mudge, Arnold, Emery, Earnshaw, Bréguet, Jürgensen, Kessels, Winnerl, Tiede.... C'est surtout dans les beaux travaux de William et de John Herschel, de South, de Struve, de Bessel et de Dawes, sur les distances et les mouvements périodiques, des étoiles doubles, que se manifeste cette rivalité de perfection entre les instruments optiques et les appareils de mesure. Sans ce double progrès, il eût été assurément impossible d'exécuter d'immenses travaux, comme ceux de Struve, par exemple, qui a mesuré un grand nombre de fois plus de 100 systèmes binaires, où la distance des étoiles composantes est au dessous de 1″, et 336 autres systèmes compris entre 1″ et 2″ (22).

Depuis un petit nombre d'années, deux hommes étrangers, par leur position sociale, à tout genre d'activité industrielle, mais animés d'un noble amour pour la science, le comte de Rosse, à Parsonstown (19 kilomètres à l'ouest de Dublin), et M. Lassell, à Starfield, près de Liverpool, ont fait construire, sous leur direction immédiate et d'après leurs propres idées, deux télescopes réflecteurs qui

ont fait naître la plus vive attente parmi les astronomes [23]. Celui de Lassell n'a que 61 centimètres d'ouverture et 6 mètres de distance focale; mais il a déjà procuré la découverte d'un satellite de Neptune et d'un huitième satellite de Saturne; de plus il a fait retrouver deux satellites d'Uranus. Le nouveau télescope de Lord Rosse est gigantesque: il a 6 pieds anglais (1^{m}, 83) d'ouverture et 50 pieds (15^{m}) de longueur. Il est placé dans le méridien, entre deux murs de 14 à 16 mètres de hauteur, lesquels laissent au tube un espace libre d'environ 3 mètres et demi de chaque côté du méridien. Plusieurs nébuleuses, qu'aucun instrument n'avait encore pu résoudre, ont été décomposées en étoiles par ce magnifique télescope. D'autres nébuleuses ont été complètement étudiées; on a pu déterminer pour la première fois leurs formes et leurs contours véritables, grâce à l'énorme quantité de lumière que le miroir concentre.

Le premier qui ait appliqué les lunettes aux instruments de mesure, ce n'est ni Picard ni Auzout; mais bien, ainsi que nous l'avons dit, l'astronome Morin. En 1638, Morin conçut l'idée de tirer parti de son invention pour observer les étoiles en plein jour. Voici comment il exposa lui-même son idée [24]: « Pour déterminer les positions absolues des étoiles, à une époque où les lunettes n'existaient pas encore (en 1582, 28 ans avant cette invention), Tycho s'est servi de Vénus, qu'il comparait aux étoiles pendant la nuit et au Soleil pendant le jour. Ce n'est point le désir d'éviter ce détour qui a suggéré à Morin une découverte dont la détermination des longitudes en mer pourra tirer un grand parti; il y a été conduit par une voie plus simple, en songeant que si *avant* le lever du Soleil, on dirigeait une lunette, non-seulement sur Vénus, mais même sur Arcturus ou toute autre belle étoile, on pourrait continuer à suivre cet astre sur la voûte céleste *après* le lever du Soleil. Personne, avant lui, n'avait vu les étoiles à la face du Soleil. » Plus tard, de grandes lunettes méridiennes furent installées d'après les idées de Rœmer. A partir de ce

moment (1691), les observations faites en plein jour se multiplièrent et acquirent une haute importance; elles ont même aujourd'hui une valeur réelle pour la mesure des étoiles doubles. Struve a mesuré à Dorpat les couples les plus difficiles, avec un simple grossissement de 320 fois, lorsque la lumière crépusculaire était encore assez forte à minuit pour permettre de lire aisément ([25]). L'étoile polaire est accompagnée, à 18″ de distance, d'une étoile de 9ᵉ grandeur; Struve et Wrangel ont vu cette petite étoile, en plein jour, à l'aide de la lunette de Dorpat ([26]); Encke et Argelander y ont également réussi de leur côté.

On a beaucoup discuté les causes de la puissance que les télescopes donnent à la vue, même en plein jour, alors que la lumière diffuse, provenant de réflexions multiples, devrait lui opposer tant d'obstacles ([27]). Ce problème d'optique excitait au plus haut degré l'intérêt de Bessel, dont les sciences ressentent encore la perte prématurée. Il y revenait souvent dans sa correspondance avec moi; mais il a fini par avouer qu'il n'avait pu en trouver de solution satisfaisante. J'ose compter que mes lecteurs me sauront gré d'insérer, dans les notes de ce livre, les idées d'Arago sur ce sujet ([28]). Je les extrais d'une collection de manuscrits qui ont été mis à ma disposition pendant mes fréquents voyages à Paris. D'après l'ingénieuse explication de mon ami, si les forts grossissements aident à distinguer les étoiles en plein jour, c'est que la lunette concentre vers l'œil et introduit dans la pupille une plus grande quantité de rayons lumineux, sans agrandir notablement l'image de l'étoile, tandis que le même appareil optique agit d'une manière tout à fait différente sur le fond du ciel où cette étoile se projette. En effet, la lumière de la partie de l'atmosphère dont l'image indéfinie occupe le champ de la vision, émane de particules d'air illuminées que le grossissement écarte les unes des autres; le champ doit donc paraître d'autant moins éclairé que le grossissement est plus fort. Or nous n'apercevons l'étoile qu'en vertu d'une différence d'intensité entre la lumière de son image et celle

du champ lui-même sur lequel cette image vient se dessiner. Il en est tout autrement des disques planétaires; ils perdent de leur éclat, par le grossissement des lunettes, précisément dans le même rapport que l'air aérienne comprise dans le champ de la vision. Seulement il faut remarquer ici que l'amplification de l'image s'étend à la vitesse de son mouvement apparent. Cet effet, qui a lieu pour les planètes comme pour les étoiles, peut contribuer à la visibilité en plein jour, à moins que le télescope ne suive le mouvement diurne, comme font les machines parallactiques conduites par des horloges. En vertu du déplacement continuel de l'image, la sensation se produit successivement en des points différents de la rétine, et l'on sait, dit ailleurs Arago, que des objets très-faibles peuvent devenir perceptibiles quand on leur imprime un mouvement.

Sous le ciel si pur des contrées tropicales, j'ai réussi bien souvent à troubler dans le ciel le pâle et faible disque de Jupiter, avec une lunette de Dollond, grossissant seulement 95 fois, lorsque le Soleil avait atteint déjà 15° ou 18° de hauteur. Plus d'une fois le docteur Galle a été surpris de la faiblesse extrême de Jupiter et de Saturne, vus en plein jour à l'aide du grand réfracteur de Berlin; cette faiblesse forme un contraste frappant avec le vif éclat de Vénus ou de Mercure. Cependant on à réussi à observer en plein jour des occultations de Jupiter par la Lune; on cite l'observation de Flaugergues en 1792, et celle de Struve en 1820. Argelander a vu très-nettement, à Bonn, un quart d'heure après le lever du Soleil, trois satellites de Jupiter, avec une lunette de $1^m,6$ de Fraunhofer; il lui fut impossible de distinguer le quatrième. Son adjoint, M. Schmidt, a même observé, à une heure du jour encore plus avancée, l'émersion des satellites, le quatrième y compris, au bord obscur de la Lune; il se servait de la lunette d'un héliomètre de $2^m,5$ de foyer. Il serait intéressant, et pour l'optique et pour la météorologie, de déterminer les limites de la visibilité télescopique des petites étoiles pendant le jour, sous des climats différents et à différentes hauteurs au-dessus du niveau de la mer.

La scintillation des étoiles est un des phénomènes les plus remarquables et aussi les plus controversés de cette catégorie dans laquelle nous rangeons les principaux faits de vision naturelle et télescopique. Il faut y distinguer, d'après les recherches d'Arago, deux points essentiels (29): 1° les changements brusques d'éclat, c'est-à-dire le fait de l'extinction subite suivie de la réapparition; 2° les variations de couleur. Ces deux sortes de changements sont plus forts dans la réalité qu'ils ne le paraissent à l'œil nu; car lorsque des points de la rétine sont une fois ébranlés, lorsqu'une impression lumineuse est produite, la sensation ne s'efface pas aussitôt, mais persiste pendant un certain temps. Il en résulte que l'affaiblissement passager de l'étoile, ses rapides changements de couleur, en un mot les diverses phases de la scintillation, ne sont point intégralement senties, ou du moins ne se perçoivent pas aussi distinctement qu'elles se produisent en réalité. Pour bien saisir les phases de la scintillation à l'aide d'une lunette, il faut imprimer à l'instrument un mouvement de rotation; alors l'image de l'étoile dessine un cercle lumineux coloré, souvent interrompu çà et là. Qu'on se représente l'atmosphère comme étant formée de couches superposées dans lesquelles la densité, l'humidité, la température varient continuellement, et on se rendra compte, par la théorie des interférences, de tous les détails de ces apparences où les phénomènes de coloration, d'extinction subite et de brillante réapparition se succèdent avec tant de vivacité. Cette théorie est basée sur un fait général, à savoir que deux rayons ou deux systèmes d'ondes, émanés d'une même source, c'est à-dire d'un même centre d'ébranlement, peuvent se détruire ou s'ajouter mutuellement, si les chemins parcourus sont inégaux. Quand un de ces systèmes d'ondes est en retard sur l'autre d'un nombre impair de demi-ondulations, les actions produites par chacun d'eux sur un même atome d'éther sont égales et de sens contraire: les vitesses qui lui sont imprimées se détruisent, l'atome reste en repos; il y a neutralisation de lumière ou production d'ob-

scurité. Dans le cas dont il s'agit, les variations de la réfrangibilité des couches d'air successives produisent souvent plus d'effet, pour déterminer les phénomènes de scintillation, que la différence des chemins parcourus par les divers rayons émanés d'une même étoile ([30]).

La scintillation présente d'ailleurs de grandes différences d'intensité d'une étoile à l'autre. Ces différences ne dépendent pas seulement de la hauteur ou de l'éclat des étoiles, mais aussi, à ce qu'il semble, de la nature propre de leur lumière. Véga, par exemple, scintille moins que Procyon et Arcturus. Si les planètes ne scintillent pas, il faut l'attribuer à la grandeur sensible de leur disque apparent et à la compensation produite par le mélange des rayons colorés, émis de chaque point de ce disque. On peut, en effet, considérer ce disque comme l'aggrégation d'un certain nombre d'étoiles, où la lumière de quelques rayons, détruite par l'interférence de certains autres, se trouve compensée par celle des points voisins, et où les images de couleurs différentes recomposent du blanc, en se superposant. Aussi ne remarque-t-on guère que des traces rares de scintillation dans Jupiter et dans Saturne. Ce phénomène est plus sensible pour Mercure et Vénus, dont le diamètre apparent peut se réduire à 4″,4 et 9″,5. Il en est de même de Mars, parce que son diamètre apparent descend presque à 3″,3 vers l'époque de la conjonction. Dans les nuits pures et froides des climats tempérés, la scintillation contribue à la magnificence du ciel étoilé. Comme elle renforce, par instants, la lumière des nombreuses étoiles de sixième à septième grandeur, qu'on ne distingue aisément qu'avec des lunettes, nous en voyons apparaître par moments, tantôt ici tantôt là, et nous sommes ainsi instinctivement portés à nous exagérer le nombre des étoiles. De là l'espèce de surprise avec laquelle on accueille, en général, les dénombrements, pourtant exacts, où l'on compte à peine quelques miliers d'étoiles visibles à l'œil nu.

Les anciens savaient déjà distinguer les planètes à leur faible scintillation. Quant à la cause de la différence qui

existe à cet égard entre les étoiles et les planètes, Aristote avait une théorie singulière ([31]): il l'expliquait par un système d'émission des rayons visuels, allant palper au loin les objets avec plus ou moins d'effort. « Les astres *fixés*, disait-il, scintillent, et les planètes ne scintillent pas, parce que les planètes sont proches et que la vue les atteint aisément, tandis que les astres immobiles (πρὸς δὲ τοὺς μένοντας) sont trop éloignés; l'œil est obligé par cette grande distance de faire effort, et son rayon visuel en devient vacillant. »

Entre 1572 et 1604, à l'époque de Galilée, époque de grands événements astronomiques, trois étoiles nouvelles apparurent dans le ciel ([32]). Elles surpassèrent en éclat les étoiles de première grandeur; une d'elles brilla même pendant vingt et un ans dans la constellation du Cygne. Leur scintillation fut le trait caractéristique qui attira le plus l'attention de Képler; il y voyait une preuve que ces nouveaux astres ne pouvaient être de nature planétaire. Mais l'état de l'optique était alors trop imparfait pour que ce grand génie, auquel l'optique doit tant, pût expliquer ce phénomène autrement que par l'interposition de vapeurs en mouvement ([33]). Les Chinois ont signalé, eux aussi, la forte scintillation des étoiles nouvelles dont il est fait mention dans la grande collection de Ma-tuan-lin.

L'absence de scintillation dans les régions tropicales, du moins à 12° ou 15° au-dessus de l'horizon, tient à un mélange plus égal, plus homogène de la vapeur d'eau avec l'atmosphère: elle donne à la voûte céleste un caractère particulier de calme et de douceur. J'ai souvent fait ressortir ce trait dans mes descriptions de la nature des tropiques. Il était d'ailleurs trop remarquable pour avoir échappé à des observateurs tels que La Condamine, Bouguer et Garcin, soit dans les plaines du Pérou, soit en Arabie, dans les Indes et à Bender Abassi, sur les côtes du golfe Persique ([34]).

Cet aspect frappant du ciel étoilé, pendant les nuits si calmes et si pures des tropiques, avait pour moi un attrait

singulier; aussi me suis-je toujours efforcé d'en étudier les causes physiques, en notant, sur mon journal, la hauteur où les étoiles cessaient de scintiller, et l'hygrométricité correspondante de l'atmosphère. Cumana et la partie péruvienne du littoral de l'Océan Pacifique, où jamais il ne tombe de pluie, se prêtaient parfaitement à ce genre de recherches, tant que l'époque du brouillard connu sous le nom de *Garua* n'était pas venue. D'après les moyennes déduites de mes observations, c'est vers 10° ou 12° de hauteur que les étoiles les plus brillantes cessent de scintiller. Plus élevées sur l'horizon, elles n'émettent qu'une douce lumière planétaire. Pour bien saisir cet effet, il vaut encore mieux suivre la même étoile depuis son lever jusqu'à son coucher, à travers toutes ses variations de hauteur; on détermine d'ailleurs ces hauteurs par des mesures directes ou par le calcul, si l'on connait l'heure et la latitude. Dans certaines nuits isolées, tout aussi calmes, tout aussi pures que les autres, j'ai vu la région où les étoiles scintillent dépasser notablement la limite moyenne et s'étendre jusqu'à 20°, et même à 25° de hauteur; mais je n'ai jamais pu saisir de relations entre ces anomalies et l'état thermométrique ou hygrométrique des couches inférieures de l'atmosphère, seules accessibles à nos instruments. Quelquefois même, et pendant plusieurs nuits successives, où l'hygromètre marquait d'abord 85° la scintillation commençait par être très-sensible pour des étoiles situées à 60° et 70° de hauteur; puis elle cessait complètement dans les régions élevées, jusqu'à une limite de 25° au-dessus de l'horizon, et pourtant la seule modification appréciable, survenue dans l'atmosphère, avait été un accroissement d'humidité; l'hygromètre à cheveu de Saussure était monté de 85° à 93°. Ce n'est donc pas la quantité de vapeurs dissoutes dans l'atmosphère, c'est leur inégale répartition dans les couches superposées, ce sont les courants d'air chaud et d'air froid régnant dans les hautes régions, sans se faire sentir dans les basses, qui modifient le jeu compliqué des interférences d'où naît le phénomène en question. J'ai même vu certains nuages qui ve-

naient teindre le ciel d'une couleur rougeâtre, peu de temps avant les secousses des tremblements de terre, augmenter d'une manière frappante la scintillation des étoiles élevées. Ces observations se rapportent toutes à une zone tropicale s'étendant à 10° ou 12° des deux côtés de l'équateur, et à la saison sans pluie et sans nuages, où le ciel est d'une pureté si parfaite dans ces régions. Lorsqu'arrive la saison des pluies, au passage du soleil par le zénith du lieu, des causes puissantes, agissant d'une manière très-générale et presque à la façon de perturbations violentes, modifient les phénomènes optiques dont je viens de parler. Les alisés du nord-est tombent tout à coup; le courant régulier des hautes régions qui va de l'équateur au pôle, et le courant inférieur qui vient du pôle à l'équateur s'interrompent et donnent lieu, par leur cessation, à une continuelle formation de nuages. Alors des torrents de pluie et des orages reviennent périodiquement chaque jour, à une heure déterminée. Tous ces phénomènes de la saison des pluies sont annoncés plusieurs jours d'avance par la scintillation des étoiles élevées, là où d'ordinaire ce phénomène est le plus rare. Cet indice est accompagné d'éclairs qui brillent à l'horizon, sans qu'on voie de nuages au ciel, si ce n'est quelques nuées apparaissant en longues et étroites colonnes et montant verticalement. J'ai souvent essayé de dépeindre, dans mes écrits, ces signes précurseurs qui donnent au ciel des tropiques une physionomie si caractéristique ([35]).

La vitesse de la lumière, ou du moins la pensée que la lumière doit employer un temps quelconque pour se propager, se trouve indiquée, pour la première fois, dans le deuxième livre du *Novum Organum*. Après avoir insisté sur l'immensité des espaces célestes que la lumière traverse pour arriver jusqu'à nous, Bacon de Verulam soulève la question de savoir si toutes les étoiles que nous voyons briller en même temps existent réellement encore ([36]). On s'étonne de rencontrer un pareil aperçu dans un ouvrage qui est resté fort au-dessous des connaissances de son époque en

astronomie et en physique. La vitesse de la lumière *réfléchie* du Soleil a été mesurée par Rœmer vers 1675. Rœmer fut conduit à sa découverte en comparant les époques des éclipses des satellites de Jupiter. La vitesse de la lumière *directe* des étoiles a été mesurée, en 1727, par Bradley qui donna ainsi, du même coup, la raison de l'aberration et la preuve matérielle du mouvement de translation de la Terre, c'est-à-dire de la vérité du système copernicien. Dans ces derniers temps, Arago a proposé de baser une troisième sorte de mesure sur les changements d'éclat d'une étoile variable, telle qu'Algol dans la constellation de Persée ([37]). A ces méthodes purement astronomiques il faut encore joindre une mesure terrestre exécutée récemment avec succès, près de Paris, par M. Fizeau. Cet ingénieux procédé rappelle une ancienne tentative de Galilée qui essaya vainement de déterminer la vitesse de la lumière par une combinaison de signaux donnés à l'aide de deux lanternes éloignées.

En discutant les premières observations de Rœmer sur les satellites de Jupiter, Horrebow et Du Hamel trouvèrent $14^m 7^s$ pour le temps que la lumière emploie à parcourir la distance moyenne du Soleil à la Terre; Cassini donne $14^m 10^s$, et Newton, $7^m 30^s$, évaluation singulièrement voisine de la vérité ([38]). Delambre n'employa dans ses calculs que les observations du premier satellite, et trouva $8^m 13^s,2$ ([39]). Encke a fait remarquer avec raison combien il serait important d'entreprendre, dans le même but, une nouvelle série d'observations sur les éclipses des satellites de Jupiter, aujourd'hui que la perfection des lunettes donne l'espoir fondé d'obtenir par là des résultats plus satisfaisants.

Les observations originales que Brandley avait instituées pour déterminer la constante de l'aberration ayant été retrouvées par Rigaud, à Oxford, le docteur Busch, de Kœnigsberg, les a soumises de nouveau au calcul, et en a déduit $20'',2116$ pour la valeur de cette constante ([40]). Par conséquent la lumière mettrait $8^m 12^s,14$ à venir du Soleil

à la Terre, et sa vitesse serait de 31161 myriamètres par seconde. Mais d'après une nouvelle série d'observations entreprises par Struve, à l'aide du grand instrument des passages, dans le premier vertical de Poulkova, et continuées pendant dix-huit mois, le premier de ces nombres doit être notablement augmenté ([41]). Ce grand travail a donné 20",4451 pour la constante de l'aberration; d'où l'on tire 8m 17s,78 pour le temps employé par la lumière à parcourir la distance du Soleil à la Terre, et 41549 milles géographiques (30831 myriamètres) par seconde pour sa vitesse. Ces deux derniers nombres ont été déduits de la constante de Struve, en adoptant la parallaxe du Soleil donnée par Encke en 1835, et les dimensions du sphéroïde terrestre calculées par Bessel (*Éphémérides de Berlin* pour 1852, Encke). C'est à peine si l'erreur probable de cette valeur de la vitesse atteint un myriamètre et demi. Il y a une différence de 1/110 entre la constante de Struve et celle de Delambre (8m 13s,2), que Bessel avait adoptée dans les *Tabulæ Regiomontanæ*, et dont on se sert encore dans les *Éphémérides de Berlin*. Au reste, il ne paraît pas que la discussion sur ce point doive être considérée comme épuisée. On avait soupçonné, il y a plusieurs années, une différence de vitesse de 1/134 environ entre la lumière de l'étoile polaire et celle d'une petite étoile qui l'accompagne; mais cette opinion est restée extrêmement douteuse.

Un physicien distingué par son savoir et par la grande délicatesse de ses recherches expérimentales, M. Fizeau, a exécuté une mesure de la vitesse de la lumière sur une base terrestre de 8633 mètres seulement, de Suresne à la butte Montmartre. Telle est, en effet, la distance à laquelle il avait établi un miroir, pour renvoyer à son point de départ, avec l'aide d'ingénieux appareils, les rayons émis par un point lumineux à l'une des stations. Cette lumière était fournie par une sorte de lampe à oxygène et à hydrogène. Une roue portant 720 dents et faisant un assez petit nombre de tours par seconde (12 tours 6/10) interceptait le rayon à son retour, ou lui livrait passage suivant la vi-

tesse de la roue; cette vitesse était évaluée à l'aide d'un compteur. On a cru pouvoir conclure de ces expériences que la lumière artificielle dont l'auteur s'est servi parcourait 17266 mètres, c'est-à-dire le double de la distance des deux stations, en 1/18000 de seconde, ce qui donne 31079 myriamètres par seconde ([42]). La détermination antérieure qui se rapproche le plus de ce résultat est celle que Delambre a conclue des éclipses de l'un des satellites de Jupiter (31094 myriamètres).

Des observations directes, et des considérations ingénieuses sur l'absence de toute coloration pendant les changements d'éclat des étoiles variables, ont conduit Arago à conclure que si les rayons diversement colorés exécutent, d'après la théorie des ondulations, des vibrations transversales très-différentes en vitesse et en amplitude, ils se propagent néanmoins, avec des vitesses égales, dans les espaces célestes. Ainsi, la vitesse de propagation des rayons colorés dans l'intérieur des différents corps est indépendante de la réfraction qu'ils y subissent ([43]). Les observations d'Arago ont montré, en effet, que la réfraction de la lumière stellaire, dans un même prisme, n'est pas affectée par les combinaisons variées de cette vitesse avec la vitesse propre de la Terre. Toutes les mesures donnèrent constamment le résultat suivant: la lumière des étoiles vers lesquelles la Terre marche, et celle des étoiles dont la Terre s'éloigne, se réfractent exactement de la même quantité. Parlant dans l'hypothèse de l'émission, le célèbre observateur disait que les corps émettent des rayons de toutes les vitesses, et que les seuls rayons d'une vitesse déterminée produisent dans l'œil la sensation de la lumière ([44]).

Il est intéressant de comparer la vitesse des rayons émis par le Soleil, les étoiles ou les corps terrestres, rayons qui sont déviés de la même manière par l'angle réfringent d'un prisme quelconque, avec celle de la lumière qu'engendre l'électricité de frottement. Les admirables recherches de Wheatstone porteraient à attribuer à cette lumière une vi-

tesse plus grande, au moins dans le rapport de 3 à 2. Si l'on s'en tient sur ce point à la plus faible évaluation qu'ait fournie l'appareil optique à miroir tournant de Wheatstone, la lumière électrique parcourrait encore 288000 milles anglais par seconde, c'est-à-dire plus de 46300 myriamètres, en comptant le *statut-mile* (69,12 par degré), pour 1609 mètres ([45]). Admettons, avec Struve, que la vitesse de la lumière stellaire est de 30831 myriamètres, cette vitesse serait donc dépassée de 15500 myriamètres par celle de la lumière électrique.

Un tel résultat contredit en apparence une opinion déjà citée de W. Herschel, d'après laquelle la lumière du Soleil et des étoiles résulterait peut-être d'actions électro-magnétiques, et serait par conséquent assimilable à une perpétuelle aurore boréale. Je dis *en apparence*, car ces phénomènes électro-magnétiques pourraient être, sans aucun doute, de nature très-complexe et très-variée dans les différents corps célestes, et la lumière produite pourrait posséder des vitesses très-différentes. Il faut le dire, d'ailleurs les résultats de Wheatstone sont encore affectés d'une incertitude qui laisse place à ces conjectures. Leur auteur lui-même les considère « comme étant trop peu fondés, comme ayant encore trop besoin d'une confirmation nouvelle » pour pouvoir être utilement comparés avec ceux de l'aberration ou des éclipses des satellites de Jupiter.

L'attention des physiciens a été vivement excitée par les recherches que Walker a faites récemment, aux États-Unis, sur la vitesse de l'électricité. Il s'agissait de déterminer, à l'aide du télégraphe électrique, les différences de longitudes entre Washington, Philadelphie, New-York et Cambridge. A cet effet, l'horloge astronomique de l'observatoire de Philadelphie fut mise en communication électrique avec un appareil de Morse, où les battements du pendule marquaient une suite de points équidistants, sur une bande de papier sans fin. Le télégraphe électrique transmettait presque instantanément chaque indication de l'horloge aux

autres stations, et y ponctuait de même le temps de Philadelphie sur d'autres bandes de papier qu'un mouvement régulier déroulait continuellement. Dans cette combinaison, des signaux quelconques pouvaient être intercalés entre ceux de la pendule. Un observateur n'avait qu'à presser du doigt sur une touche pour signaler l'instant du passage d'une étoile par le méridien de sa station. « Cette méthode américaine possède, dit Steinheil, un avantage essentiel, celui de rendre la détermination du temps indépendante de la liaison de deux de nos sens, l'ouïe et la vue; car pendant que la marche de la pendule s'inscrit d'elle-même, sans que l'observateur ait besoin de s'en préoccuper, celui-ci saisit et marque le passage de l'étoile (avec la précision de 1/70 de seconde, suivant Walker). » Enfin, en comparant les résultats obtenus à Philadelphie et à Cambridge, par exemple, on trouve une différence constante, et cette différence est due au temps employé par le courant électrique pour parcourir deux fois le conducteur fermé qui unit les deux stations.

Ces mesures, exécutées sur des fils conducteurs de 1050 milles anglais (1689 kilomètres), fournirent 18 équations de condition entre les inconnues du problème: on en déduisit 18700 milles (30094 kilomètres) pour la vitesse de propagation du courant hydrogalvanique ([46]), c'est-à-dire, une vitesse quinze fois moindre que celle de l'électricité dans les expériences de Wheatstone! Comme ces remarquables recherches furent instituées à l'aide d'un seul fil, la moitié du conducteur étant remplacée, comme on dit, par la terre, on pourrait croire que la nature et les dimensions du milieu parcouru influent à la fois sur la vitesse avec laquelle se propage l'électricité ([47]). Dans le circuit voltaïque, les conducteurs s'échauffent d'autant plus que leur conductibilité est moindre, et l'on sait, par les derniers travaux de Riess, combien les tensions électriques présentent des phénomènes variés et complexes ([48]). Les vues actuellement régnantes sur ce qu'on nomme d'ordinaire « fermer le circuit par la terre » sont opposées à

toute idée de propagation linéaire de molécule à molécule, entre les extrémités des fils conducteurs; ce qu'on regardait autrefois comme un courant réellement formé à travers le sol, est remplacé aujourd'hui par l'hypothèse d'une restitution continue de la tension électrique.

Quoique la vitesse de la lumière paraisse être la même pour toutes les étoiles, du moins dans la limite de précision avec laquelle les observations modernes ont pu donner la constante de l'aberration, on s'est cru pourtant autorisé à examiner s'il ne pourrait pas exister des corps célestes dont la lumière ne parviendrait pas jusqu'à nous, retenue qu'elle serait par l'attraction d'une masse énorme et forcée de revenir vers le corps d'où elle aurait été lancée. La théorie de l'émission a donné une forme scientifique à ce jeu d'imagination ([49]). J'en parle ici cependant, parce que j'aurai plus tard occasion de revenir à une hypothèse analogue, en traitant des mouvements propres de Sirius et de Procyon, dont les anomalies ont été attribuées à l'action de certains corps obscurs. Il entre dans le plan de cet ouvrage de signaler tout ce qui a donné, de nos jours, une impulsion quelconque à la science: à ce prix seulement, ce livre pourra présenter un tableau fidèle du caractère de l'époque où il aura paru.

Depuis plus de deux mille ans, on s'occupe de recherches *photométriques* sur la lumière des astres qui brillent de leur propre éclat dans l'univers; on s'efforce de déterminer ou d'estimer du moins leurs intensités relatives. C'est que la description du ciel étoilé ne se réduit pas à fixer seulement, avec une précision extrême, les distances mutuelles des astres, ou à coordonner leurs positions par rapport aux grands cercles de la sphère céleste; elle comprend encore la connaissance et la mesure de leur éclat individuel. Ce dernier caractère est même celui dont les hommes se sont préoccupés d'abord. Longtemps avant de songer à grouper les étoiles en constellations, ils ont donné des noms propres aux plus brillantes. J'ai pu moi-même constater cette tendance primitive chez les tribus sauvages

qui habitent les épaisses forêts du haut Orénoque et de l'Atabapo. Là d'impénétrables fourrés me réduisaient à observer d'ordinaire les plus hautes étoiles pour déterminer la latitude, et quand je consultais les naturels, principalement les vieillards, sur les plus belles étoiles, Canopus, Achernar, les Pieds du Centaure ou α de la Croix du Sud, ils m'en disaient aussitôt les noms consacrés parmi eux. Si le catalogue de constellations connu sous le nom de *Catastérismes* d'Ératosthène avait la haute antiquité que lui attribuèrent si longtemps ceux qui en plaçaient l'époque entre Autolycus et Timocharis, cent cinquante ans avant Hipparque, une particularité de ce catalogue nous permettrait d'assigner une limite pour le temps où les étoiles n'étaient pas encore rangées, chez les Grecs, par ordre de grandeur ou d'éclat. Quand il s'agit, en effet, d'énumérer les étoiles qui constituent chaque constellation, les Catastérismes citent assez souvent le nombre des étoiles les plus brillantes ou les plus *grandes* et celui des étoiles *obscures*, moins faciles à reconnaître ([50]); jamais ils ne comparent entre elles les étoiles appartenant à des groupes différents. Mais Bernhardy, Baehr et Letronne rejettent les Catastérismes plus de deux siècles après le catalogue d'Hipparque. Ce n'est d'ailleurs qu'une compilation sans mérite, un simple extrait du *Poeticum astronomicum* attribué à Julius-Hyginus, ou même du poëme d'Eratosthène l'ancien, intitulé Ερμῆς. Il en est autrement du catalogue d'Hipparque que nous possédons sous la forme qui lui a été donnée dans l'Almageste. Ce catalogue contient la première détermination des ordres de grandeur ou d'éclat de 1022 étoiles, c'est-à-dire du cinquième environ des étoiles visibles à l'œil nu sur le ciel entier, depuis la 1re jusqu'à la 6e grandeur. Seulement nous ignorons si ces grandeurs ont été déterminées par Hipparque lui-même, ou si elles ont été empruntées aux observations de Timocharis et d'Aristille, dont Hipparque a fait un si fréquent usage.

Cette œuvre forme la base de tous les travaux postérieurs des Arabes et des astronomes du moyen âge. On y

retrouve même l'origine d'une habitude qui s'est prolongée jusqu'au XIXe siècle, celle de limiter à 15 le nombre des étoiles de 1re grandeur. Mædler en compte 18; Rümker, qui a soumis le ciel austral à une révision soigneuse, en compte 20. L'ancien nombre est uniquement basé sur la classification qu'on trouve dans l'Almageste, à la fin du catalogue stellaire du 8e livre. Ptolémée appliquait l'épithète d'*obscures* aux étoiles qui sont au-dessous de la 6e grandeur. Chose singulière, il ne cite que 49 étoiles de 6e grandeur qu'il a choisies d'une manière à peu près uniforme dans les deux hémisphères; or comme son catalogue comprend à peu près la cinquième partie des étoiles visibles à l'œil nu, il eût dû donner, toute proportion gardée, 640 étoiles de cette grandeur, d'après l'énumération qu'Argelander en a faite. Quant aux *nébuleuses* (νεφελοειδεῖς) de Ptolémée et aux Catastérismes du Pseudo-Ératosthène, ce sont pour la plupart de petits amas d'étoiles qu'on distingue aisément sous le ciel pur des contrées méridionales ([51]); c'est du moins ce que me donne à penser l'indication relative à une nébuleuse située dans la main droite de Persée. Galilée lui-même qui ignorait, comme les astronomes grecs et arabes, l'existence de la nébuleuse d'Andromède, quoique cette nébuleuse soit visible à l'œil nu, a dit dans son *Nuncius sidereus* que les *stellæ nebulosæ* sont de simples amas d'étoiles, lesquels « sicut aerolæ sparsim per æthera fulgent. » ([52]). Quoique l'expression de *grandeurs* de différents ordres (τῶν μεγάλων τάξις) ait été restreinte, dès l'origine, au sens de gradation d'éclat ou d'intensité lumineuse, elle a pourtant donné lieu, dès le IXe siècle, à des hypothèses sur les diamètres que devaient avoir les étoiles d'éclat différent ([53]); comme si cet éclat ne dépendait pas à la fois de la distance, du volume, de la masse, et avant tout des propriétés physiques, spéciales, de la matière dont la surface des astres est formée.

La science fit un pas de plus vers le XVe siècle, à l'époque de la domination des Mogols, lorsque l'astronomie florissait à Samarcande, sous le Timouride Oulough Beg. Cha-

que ordre de grandeur de l'ancienne classification d'Hipparque et de Ptolémée fut subdivisé; on y distingua les étoiles petites, moyennes et grandes, à peu près comme Struve et Argelander ont divisé depuis en dix les mêmes intervalles ([54]). Les Tables d'Oulougli Beg attribuent ce progrès en photométrie à Abderrahman Soufi, auquel on doit un ouvrage sur « la connaissance des fixes, » ainsi que la première mention de l'une des Nuées de Magellan, sous le nom de *Bœuf blanc*. Depuis l'universelle introduction des lunettes dans le domaine de l'astronomie, l'estimation des grandeurs a dû aller bien au delà du 6e ordre. Les recherches photométriques avaient été fortement stimulées par le phénomène des étoiles nouvelles qui apparurent subitement dans le Cygne et dans le Serpentaire, et dont la première a brillé 21 ans. Il fallut en effet, pour déterminer les phases d'accroissement et de diminution de leur lumière, comparer continuellement ces étoiles nouvelles à d'autres étoiles bien connues. Alors les étoiles *nébuleuses* de Ptolémée purent être classées, dans l'échelle numérique des grandeurs, au-dessous de la 6e, et peu à peu les astronomes furent conduits à prolonger cette échelle par delà la 16e grandeur, afin de représenter des dégradations successives, qui sont encore appréciables, suivant Sir John Herschel, pour les astronomes munis de puissants instruments ([55]). Disons pourtant qu'à cette limite extrême l'estime devient excessivement incertaine: Struve assigne quelquefois le 12e ou le 13e rang à des étoiles que J. Herschel place dans le 18e ou le 20e ordre de grandeur.

Il ne saurait entrer dans mon plan de discuter ici les moyens très-variés qu'on a imaginés pendant un siècle et demi, depuis Auzout et Huyghens jusqu'à Bouguer et Lambert, depuis W. Herschel, Rumford et Wollaston jusqu'à Steinheil et J. Herschel, pour mesurer l'intensité de la lumière. Qu'il nous suffise de signaler rapidement ces diverses méthodes. On a eu recours à la comparaison des ombres des lumières artificielles, en faisant varier le nombre et la distance de ces lumières. Plus tard on employa des diaphrag-

mes, des plans de glace d'épaisseurs ou même de couleurs variables; puis des étoiles artificielles formées par réflexion sur des sphères de verre. On imagina de rapprocher assez deux télescopes pour que l'œil pût se transporter de l'un à l'autre, durant le court intervalle d'une seconde. On composa des appareils dans lesquels on pouvait voir simultanément par réflexion les deux étoiles qu'il s'agissait de comparer, en ayant soin de rectifier la lunette de telle sorte qu'une même étoile y donnât deux images d'égale intensité ([56]). On construisit d'autres appareils où un objectif, muni d'un miroir, pouvait être masqué plus ou moins par des diaphragmes tournants, dont la rotation était mesurée sur un cercle divisé. On a formé des images stelliformes, d'intensité variable, en concentrant les rayons de la Lune ou de Jupiter à l'aide de l'*astromètre*, instrument composé d'un prisme réflecteur et d'une lentille ([57]). Enfin on a eu recours à des objectifs divisés dont les deux moitiés recevaient, par des prismes, la lumière des étoiles. Le succès n'a point répondu à tant d'efforts: l'astronome distingué qui s'est le plus occupé des recherches de ce genre et dont la judicieuse activité a pu s'exercer dans les deux hémisphères, Sir John Herschel, avoue lui-même qu'après tant de travaux une méthode pratique et exacte, pour les mesures photométriques, reste un desideratum en astronomie. A son avis, la mesure de l'intensité de la lumière est encore dans l'enfance; et cependant l'attention des astronomes se porte plus que jamais de ce côté, stimulée qu'elle est par le problème des étoiles changeantes et par un phénomène céleste qui s'est présenté de nos jours, l'accroissement d'éclat extraordinaire que reçut en 1837 une étoile du Navire Argo.

En fait de grandeurs stellaires, il est essentiel de distinguer soigneusement deux genres bien différents de classification. L'un se réduit à une distribution des étoiles rangées d'après leur éclat décroissant; le *Manuel scientifique pour les Navigateurs* de sir John Herschel en contient un exemple. L'autre est basé sur l'évaluation numérique des

rapports de grandeurs, ou même sur des nombres qui expriment l'éclat absolu, la quantité de lumière émise ([58]). De ces deux derniers modes, le premier, qui borne ses prétentions à reproduire en nombres des évaluations faites à la simple vue, mérite probablement la préférence, quand ces évaluations ont été instituées avec un soin convenable ([59]). Dans l'état imparfait où se trouve la photométrie, il ne s'agit encore, en effet, que d'obtenir un premier degré d'approximation. Mais, il faut le reconnaître, c'est dans l'estime faite à la vue simple que se manifeste le plus l'influence de l'individualité propre à chaque observateur. A cette difficulté première, il faut ajouter celles qui naissent de la pureté si variable de l'atmosphère et de l'inégale hauteur des astres très-éloignés l'un de l'autre, entre lesquels la comparaison n'est possible qu'à l'aide d'intermédiaires nombreux; on doit tenir compte surtout des erreurs qui peuvent tenir à la différence des couleurs. La lumière est-elle d'égale teinte et du même degré de blancheur, on rencontre de nouveaux obstacles dans la vivacité de son éclat. Par exemple, il est bien plus difficile de comparer Sirius et Canopus, α du Centaure et Achernar, Deneb et Véga, que des étoiles beaucoup plus faibles, comme celles de 6ᵉ ou de 7ᵉ grandeur. La difficulté s'accroît encore pour les étoiles très-brillantes, quand il s'agit de comparer des étoiles jaunes, comme Procyon, la Chèvre ou Ataïr, avec des étoiles rouges, telles qu'Aldébaran, Arcturus et Bételgeuze ([60]).

Sir John Herschel a tenté, à l'exemple de Wollaston, de déterminer le rapport qui existe entre l'intensité de lumière d'une étoile et celle du Soleil. Il a pris la Lune pour point de comparaison intermédiaire, et en a comparé l'éclat à celui de l'étoile double α du Centaure, une des plus brillantes (la 3ᵉ) de tout le ciel. Ainsi fut accompli, pour la seconde fois, le souhait que John Michel formait dès 1787 ([61]). Par la moyenne de 11 mesures, instituées à l'aide d'un appareil prismatique, Sir John Herschel trouva que la pleine Lune est 27408 fois plus brillante que α du Centaure. Or,

d'après Wollaston, le Soleil est 801072 fois plus brillant que la pleine Lune ([62]). Ainsi la lumière que le Soleil nous envoie est à celle que nous recevons de α du Centaure dans le rapport de 22000 millions à 1. En tenant compte de la distance, d'après la parallaxe adoptée pour cette étoile, il résulte des données précédentes que l'éclat absolu de α du Centaure est double de celui du Soleil (dans le rapport de 23 à 10). Wollaston a trouvé que la lumière de Sirius est, pour nous, 20000 millions de fois plus faible que celle du Soleil: son éclat réel, absolu, serait donc 63 fois plus grand que celui du Soleil, si, comme on le croit, la parallaxe de Sirius doit être réduite à 0″,230 ([63]). Nous sommes conduits ainsi à ranger notre Soleil parmi les étoiles d'un médiocre éclat intrinsèque. Sir John Herschel estime que l'éclat apparent de Sirius est presque égal à celui de 200 étoiles de 6e grandeur.

Puisqu'en dernier résultat il paraît vraisemblable, au moins par analogie, que tous les astres sont variables, non-seulement sous le rapport de la position qu'ils occupent dans l'espace absolu, mais encore sous celui de leur éclat intrinsèque, quelle que soit d'ailleurs la durée encore inconnue des périodes de ces variations; puisque d'autre part toute vie organique est subordonnée à l'intensité de la lumière et de la chaleur de notre Soleil, on est en droit de regarder les progrès de la photométrie comme un des buts les plus sérieux et les plus importants que la science puisse se proposer. On comprend quel intérêt les races futures attacheront à des déterminations numériques que de nouveaux perfectionnements en photométrie peuvent seuls nous permettre de leur léguer sur l'état actuel du firmament. Là se trouvera, par exemple, l'explication de nombreux phénomènes qui sont en rapport intime avec l'histoire thermologique de notre atmosphère et avec l'ancienne distribution géographique des espèces animales et végétales. Des considérations de même nature s'étaient déjà présentées, il y a plus d'un demi-siècle, à l'esprit de William Herschel, ce grand investigateur qui, devançant la décou-

verte des rapports intimes du magnétisme avec l'électricité, osait assimiler la lumière, perpétuellement engendrée dans l'enveloppe gazeuse du Soleil, à celle des aurores boréales de notre globe terrestre ([64]).

Arago a reconnu dans l'état réciproquement complémentaire des anneaux colorés, vus par transmission et par réflexion, le moyen qui laisse concevoir le plus d'espérance d'arriver à la mesure directe de la quantité de lumière. J'ai cité dans une note ([65]), en conservant les propres termes de mon ami, l'indication de sa méthode photométrique, et celle du principe optique sur lequel il a basé son cyanomètre.

En raison de ces variations cosmiques de la lumière stellaire, nos cartes célestes et nos catalogues, où l'on trouve soigneusement indiquées les diverses grandeurs des étoiles, ne sauraient constituer un tableau homogène de l'état du ciel. Il faut distinguer, en réalité, dans les diverses parties de ce tableau, celles qui répondent à des époques très-différentes. On a cru longtemps que l'ordre des lettres dont on s'était servi pour désigner les étoiles, au XVIIe siècle, pourrait fournir des indices sûrs de ces variations de grandeur et d'éclat. Mais en discutant sous ce point de vue l'*Uranométrie* de Bayer, Argelander a prouvé qu'il n'était pas possible de juger de l'éclat relatif des étoiles, à l'époque de Bayer, d'après le rang que leurs lettres occupent dans l'alphabet ; car l'astronome d'Augsbourg s'est laissé guider, dans le choix de ces lettres, par la forme et la direction des constellations, plutôt que par l'éclat des étoiles elles-mêmes ([66]).

SÉRIE PHOTOMÉTRIQUE DES ÉTOILES.

J'intercale ici un tableau que j'emprunte au récent ouvrage de sir John Herschel, *Outlines of Astronomy*, p. 645 et 646. Mon savant ami, M. le docteur Galle, a bien voulu se charger de le coordoner et d'en rédiger l'explication. Voici un extrait de la lettre qu'il m'écrivit, à ce sujet, en mars 1850:

« Les nombres de l'*échelle photométrique*, contenue dans les *Outlines of Astronomy*, ont été formés à l'aide de ceux de l'*échelle vulgaire*, en ajoutant uniformément 0,41 à ces derniers. Les grandeurs indiquées par les nombres de cette seconde échelle proviennent d'observations directes. L'auteur a institué des séries de comparaisons (*sequences*) entre les diverses étoiles, et a combiné ses résultats avec les *grandeurs* ordinairement employées par les astronomes (*Voyage au Cap*, p. 304-352); sous ce dernier rapport, le Catalogue de la Société astronomique de Londres, pour l'an 1827, lui a servi de base (p. 305). Les mesures photométriques, proprement dites, faites sur plusieurs étoiles à l'aide de l'*astromètre*, n'ont pas servi directement à construire cette table, mais seulement à voir jusqu'à quel point l'échelle ordinaire des grandeurs (la 1re, la 2e, la 3e.... grandeur) peut représenter la quantité de lumière réellement émise par chaque étoile. En procédant ainsi, l'auteur est arrivé à ce résultat remarquable que la série de nos grandeurs habituelles (1re, 2e, 3e,....) répond à peu près à celles que prendrait une même étoile de 1re grandeur, transportée successivement aux distances 1, 2, 3,...., et l'on sait que, dans ce cas, l'intensité de la lumière serait représentée par la série 1, 1/4, 1/9, 1/16,.... (*Voyage au Cap*, p. 371, 372: *Outlines*, p. 521, 522). Toutefois, si l'on veut perfectionner cette remarquable concordance des deux séries, il faut augmenter nos évaluations habituelles d'environ 1/2 grandeur, ou plus exactement de 0,41. Dans ce système, une étoile estimée actuellement de 2e grandeur devient de la grandeur 2,41: une autre de 2,5 grandeur devient de 2,91, etc.... C'est là l'*échelle photométrique* que sir John Herschel propose de substituer à l'échelle actuelle des grandeurs (*Voyage au Cap*, p. 372; *Outlines*, p. 522), et assurément cette proposition mérite bien d'être accueillie. D'un côté, en effet, la différence entre les deux échelles est à peine

sensible (would hardly be felt, *Voyage au Cap*, p. 372); d'autre part, la table des *Outlines* (p. 645 et suiv.), peut déjà servir de base jusqu'à la 4e grandeur, en sorte qu'on peut dès aujourd'hui appliquer complètement aux étoiles la règle qu'on a suivie jusqu'ici d'une manière instinctive, et qui consiste en ce que les intensités relatives à la 1re, la 2e, la 3e, la 4e..... grandeur sont proportionnelles aux nombres 1, 1/4, 1/9, 1/16, etc.... Sir John Herschel a choisi α du Centaure comme étoile normale de première grandeur pour l'échelle photométrique, et comme unité pour la quantité de lumière (*Outlines*, p. 523; *Voyage au Cap*, p. 372). D'après cela, si l'on élève au carré le nombre qui représente la grandeur photométrique d'une étoile, on obtient l'inverse du rapport de la quantité de lumière à celle de α du Centaure. Par exemple, κ d'Orion ayant 3 pour grandeur photométrique, émet 9 fois moins de lumière que α du Centaure; et en même temps, ce nombre 3 indique que κ d'Orion doit être 3 fois plus éloigné de nous que α du Centaure, si ces deux étoiles sont des astres d'égale grandeur linéaire et d'égal éclat. Si l'on eût fait choix d'une autre étoile, de Sirius, par exemple, qui est 4 fois plus brillant, pour servir d'unité à cette échelle dont les nombres indiquent à la fois l'éclat et la distance, la régularité dont il vient d'être question ne se serait pas présentée avec la même simplicité. En outre, deux particularités désignaient assez α du Centaure; sa distance est connue avec un certain degré de probabilité, et cette distance est la plus petite de toutes celles que l'on a mesurées jusqu'ici.

« L'auteur des *Outlines* montre dans ce dernier ouvrage, p. 521, que l'échelle photométrique, ordonnée suivant les carrés 1, 1/4, 1/9, 1/16,.... est préférable à toute autre série, telle que les progressions géométriques 1, 1/2, 1/4, 1/8,.... ou 1, 1/3, 1/9, 1/27,.... Pendant votre voyage en Amérique, vous aviez adopté une progression arithmétique pour coordonner les observations que vous fîtes sous l'équateur; mais vos séries, ainsi que les précédentes, ne s'adaptent pas aussi bien à l'échelle ordinaire des grandeurs stellaires (vulgar scale) que la progression des carrés adoptée par Herschel (Humboldt, *Recueil d'Observ. astron.*, t. I, p. LXXI, et *Astron. Nachrichten*, n° 374). Dans la table suivante, les 190 étoiles des *Outlines* sont ordonnées d'après l'ordre des grandeurs seulement, et non d'après leurs déclinaisons boréales ou australes. »

CATALOGUE

de 100 *étoiles, depuis la* 1[re] *jusqu'à la* 3[e] *grandeur, rangées, d'après les déterminations de sir John Herschel, dans l'ordre de leurs grandeurs estimées* photométriquement, *et dans celui de leurs grandeurs* ordinaires, *d'après les données les plus exactes.*

Étoiles de 1[re] grandeur.

NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.	NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.
Sirius.	0,08	0,49	α Orion.	1,0 :	1,4 :
η Argo (var).	”	”	α Eridan.	1,09	1,50
Canopus.	0,29	0,70	Aldébaran.	1,1 :	1,5 :
α Cantaure.	0,59	1,00	β Centaure.	1,17	1,58
Arcturus.	0,77	1,18	α Croix.	1,2	1,6
Rigel.	0,82	1,23	Antarès.	1,2	1,6
La Chèvre.	1,0 :	1,4 :	α Aigle.	1,28	1,69
α Lyre.	1,0 :	1,4 :	L'Épi.	1,38	1,79
Procyon.	1,0 :	1,4 :			

Étoiles de 2[e] grandeur.

NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.	NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.
Fomalhaut.	1,54	1,95	α Triangle austral.	2,23	2,64
β Croix.	1,57	1,98	ε Sagittaire.	2,26	2,67
Pollux.	1,6 :	2,0 :	β Taureau.	2,28	2,69
Regulus.	1,6 :	2,0 :	La Polaire.	2,28	2,69
α Grue.	1,66	2,07	θ Scorpion.	2,29	2,70
γ Croix.	1,73	2,14	α Hydre.	2,30	2,71
ε Orion.	1,84	2,25	δ Chien.	2,32	2,73
ε Chien.	1,86	2,27	α Paon.	2,33	2,74
λ Scorpion.	1,87	2,28	γ Lion.	2,34	2,75
α Cygne.	1,90	2,31	β Grue.	2,36	2,77
Castor.	1,94	2,35	α Bélier.	2,40	2,81
ε Ourse (var).	1,95	2,36	σ Sagittaire.	2,41	2,82
α Ourse (var).	1,96	2,37	δ Argo.	2,42	2,83
ζ Orion.	2,01	2,42	ζ Ourse.	2,43	2,84
β Argo.	2,03	2,44	β Andromède.	2,45	2,86
α Persée.	2,07	2,48	β Baleine.	2,46	2,87
γ Argo.	2,08	2,49	λ Argo.	2,46	2,87
ε Argo.	2,18	2,59	β Cocher.	2,48	2,89
η Ourse (var).	2,18	2,59	γ Andromède.	2,50	2,91
γ Orion.	2,18	2,59			

Étoiles de 3e grandeur.

NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.	NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.
γ Cassiopée.	2,52	2,93	ζ Centaure.	2,96	3,37
α Andromède.	2,54	2,95	ζ Ophiucus.	2,97	3,38
θ Centaure.	2,54	2,95	α Verseau.	2,97	3,38
α Cassiopée.	2,57	2,98	π Argo.	2,98	3,39
β Chien.	2,58	2,99	γ Aigle.	2,98	3,39
κ Orion.	2,59	3,00	δ Cassiopée.	2,99	3,40
γ Gémeaux.	2,59	3,00	ρ Centaure.	2,99	3,40
δ Orion.	2,61	3,02	α Lièvre.	3,00	3,41
Algol (var).	2,62	3,03	δ Ophiucus.	3,00	3,41
ε Pégase.	2,62	3,03	ζ Sagittaire.	3,01	3,42
γ Dragon.	2,62	3,03	η Bouvier.	3,01	3,42
β Lion.	2,63	3,04	η Dragon.	3,02	3,43
α Ophiucus.	2,63	3,04	π Ophiucus.	3,05	3,46
β Cassiopée.	2,63	3,04	β Dragon.	3,06	3,47
γ Cygne.	2,63	3,04	β Balance.	3,07	3,48
α Pégase.	2,65	3,06	γ Vierge.	3,08	3,49
β Pégase.	2,65	3,06	μ Argo.	3,08	3,49
γ Centaure.	2,68	3,09	β Bélier.	3,09	3,50
α Couronne.	2,69	3,10	γ Pégase.	3,11	3,52
γ Ourse.	2,71	3,12	δ Sagittaire.	3,11	3,52
ε Scorpion.	2,71	3,12	α Balance.	3,12	3,53
ζ Argo.	2,72	3,13	λ Sagittaire.	3,13	3,54
β Ourse.	2,77	3,18	β Loup.	3,14	3,55
α Phénix.	2,78	3,19	ε Vierge?	3,14	3,55
ι Argo.	2,80	3,21	α Colombe.	3,15	3,56
ε Bouvier.	2,80	3,21	θ Cocher.	3,17	3,58
α Loup.	2,82	3,23	β Hercule.	3,18	3,59
ε Centaure.	2,82	3,23	ι Centaure.	3,20	3,61
η Chien.	2,85	3,26	δ Capricorne.	3,20	3,61
β Verseau.	2,85	3,26	δ Corbeau.	3,22	3,63
δ Scorpion.	2,86	3,27	α Chiens de chasse.	3,22	3,63
ε Cygne.	2,88	3,29	β Ophiucus.	3,23	3,64
η Orphiucus.	2,89	3,30	δ Cygne.	3,24	3,65
γ Corbeau.	2,90	3,31	ε Persée.	3,26	3,67
α Céphée.	2,90	3,31	ν Taureau?	3,26	3,67
η Centaure.	2,91	3,32	β Eridan.	3,26	3,67
α Serpent.	2,92	3,33	θ Argo.	3,26	3,67
δ Lion.	2,94	3,35	β Hydre.	3,27	3,68
κ Argo.	2,94	3,35	ζ Persée.	3,27	3,68
β Corbeau.	2,95	3,36	ζ Hercule.	3,28	3,69
β Scorpion.	2,96	3,37	ε Corbeau.	3,28	3,69

Étoiles de 3e grandeur (*suite*).

NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.	NOMS DES ÉTOILES	GRANDEUR ordin.	GRANDEUR photom.
ι Cocher.	3,29	3,70	ζ Taureau.	3,42	3,83
γ Petite Ourse.	3,30	3,71	δ Dragon.	3,42	3,83
η Pégase.	3,31	3,72	μ Gémeaux.	3,42	3,83
β Autel.	3.31	3,72	γ Bouvier.	3,43	3,84
α Toucan.	3,32	3,73	ε Gémeaux.	3,43	3,84
β Capricorne.	3,32	3,73	α Mouche.	3,43	3 84
ρ Argo.	3,32	3,73	α Hydre?	3,44	3,85
ζ Aigle.	3.32	3,73	τ Scorpion.	3,44	3,85
β Cygne.	3,33	3,74	δ Hercule.	3,44	3,85
γ Persée.	3,34	3,75	δ Gémeaux.	3,44	3,85
μ Ourse.	3,35	3,76	q Orion.	3,45	3,86
β Triangle boréal.	3,35	3,76	β Céphée.	3,45	3,86
π Scorpion.	3,35	3,76	θ Ourse.	3,45	3,86
β Lièvre.	3,35	3,76	ζ Hydre.	3,45	3,86
γ Loup.	3,36	3,77	γ Hydre.	3,46	3,87
δ Persée.	3,36	3,77	β Triangle austral.	3,46	3,87
ψ Ourse.	3,36	3,77	ι Ourse.	3,46	3,87
ε Cocher (var).	3,37	3,78	μ Cocher.	3,46	3,87
υ Scorpion.	3,37	3,78	γ Lyre.	3,47	3,88
ι Orion.	3,37	3,78	η Gémeaux.	3,48	3,89
γ Lynx.	3,39	3,80	γ Céphée.	3,48	3.89
ζ Dragon.	3,40	3,81	κ Ourse.	3,49	3,90
α Autel.	3,40	3,81	ε Cassiopée.	3,49	3,90
π Sagittaire.	3,40	3,81	θ Aigle.	3,50	3,91
π Hercule.	3,41	3,82	σ Scorpion.	3,50	3,91
β Petit Chien?	3,41	3,82	τ Argo.	3,50	3,91

« Le petit tableau suivant peut encore offrir de l'intérêt: les nombres désignent les *quantités de lumière* de 17 étoile de 1re grandeur, telles qu'elles résultent des grandeurs photométriques:

Sirius.	4,165
η Argo.	—
Canopus.	2,041
α Centaure.	1,000
Arcturus.	0,718

Rigel.	0,661
La Chèvre.	0,510
α Lyre.	0,510
Procyon.	0,510
α Orion.	0,489
α Eridan.	0,444
Aldébaran.	0,444
β Centaure.	0,401
α Croix.	0,391
Antarès.	0,391
α Aigle.	0,350
L'Épi.	0,312

« Voici, de plus, les quantités de lumière des étoiles qui sont juste de 1re, de 2e, de 3e grandeur, etc.:

Grandeur d'après l'échelle ordinaire	Quantité de lumière.
1,00	0,500
2,00	0,172
3,00	0,086
4,00	0,051
5,00	0,034
6,00	0,024

« Partout la quantité de lumière de α du Centaure est prise pour unité. »

III.

NOMBRE, DISTRIBUTION ET COULEURS DES ÉTOILES. — AMAS STELLAIRES. — VOIE LACTÉE PARSEMÉE DE RARES NÉBULEUSES.

Dans la première partie de ces fragments d'astrognosie, j'ai rappelé une conception originale d'Olbers ([67]) : Si la voûte du ciel était entièrement tapissée de points stellaires qui correspondraient à d'innombrables couches d'étoiles, placées les unes derrière les autres dans toutes les directions possibles ; si, de plus, la lumière traversait l'espace sans y subir d'extinction ; alors le fond du ciel présenterait un éclat uniforme, insupportable ; aucune constellation ne pourrait être distinguée ; le Soleil ne serait reconnaissable que par ses taches, et la Lune par un disque obscur. Cette singulière hypothèse reporte mon esprit vers un phénomène diamétralement opposé, quant à l'apparence, identique, au fond, pour l'obstacle qu'il opposerait au développement de la science, si la nature ne l'eût circonscrit aux plaines du Pérou. Là, entre les côtes de la mer du Sud et la chaîne des Andes, un brouillard épais masque le firmament pendant des mois entiers. C'est la saison qu'on nomme *el tiempo de la garua*. Impossible alors de distinguer une seule planète, une seule de ces belles étoiles de l'hémisphère austral, Canopus, la Croix du Sud, ou les pieds du Centaure. A peine si l'on parvient à deviner parfois le lieu

qu'occupe la Lune. Le jour, quand il arrive par hasard que les contours du Soleil soient reconnaissables, son disque apparaît sans rayons, comme s'il était vu à travers un verre noir ; sa couleur est jaune rougeâtre, quelquefois blanche, plus rarement d'un bleu verdâtre. Le navigateur, entraîné dans ces parages par le courant froid qui règne sur les côtes du Pérou, ne peut reconnaître le rivage ; sans moyens pour déterminer sa latitude, il dépasse souvent le port où il se proposait d'arriver Heureusement la configuration locale des courbes magnétiques lui offre une dernière ressource ; j'ai montré ailleurs comment l'aiguille d'inclinaison peut encore le guider, quand les astres lui font défaut ([68]).

Longtemps avant moi, Bouguer et son collaborateur Don Jorge Juan, se sont plaints « du ciel si peu astronomique du Pérou. » Mais une considération plus grave encore se rattache à ce phénomène d'une couche atmosphérique imperméable à la lumière, incapable de retenir l'électricité, où jamais un orage ne se forme, et d'où s'élancent vers des régions plus pures les hauts plateaux des Cordillères, avec leurs sommets couverts de neiges éternelles. D'après les idées que la Géologie moderne s'est formées de l'état de l'atmosphère, dans les temps primitifs, il est à présumer que l'air, alors plus opaque et mélangé de vapeurs épaisses, devait être peu propre à transmettre les rayons lumineux. Si donc on réfléchit aux actions complexes qui ont déterminé, dans le monde primitif, la séparation des éléments solides, liquides et gazeux, et qui ont constitué finalement l'écorce terrestre avec ses enveloppes actuelles, il sera impossible de se soustraire à l'idée que l'humanité a couru le danger de vivre dans une atmosphère opaque, favorable encore, il est vrai, à plusieurs espèces végétales, mais qui aurait voilé à nos regards les merveilles du firmament. La structure des Cieux aurait échappé à l'esprit d'analyse ; hors la Terre, rien n'existerait pour nous dans la création, si ce n'est peut-être le Soleil et la Lune ; l'espace semblerait uniquement fait pour ces trois corps. Privé de ses notions les plus élevées sur

le Cosmos, l'homme aurait manqué de ces incitations qui le lancent depuis des siècles à la poursuite de la vérité, et qui posent incessamment de nouveaux problèmes, dont les difficultés ont exercé tant d'influence sur l'admirable essor des sciences mathématiques. Il est bien permis de considérer un instant cette possibilité funeste, avant d'*énumérer* ici les conquêtes de l'esprit humain, conquêtes que le plus simple obstacle eût suffi, on le voit, à étouffer en germe.

Quand il s'agit du *nombre* des astres qui remplissent les espaces célestes, on doit distinguer trois questions différentes. Combien d'étoiles peut-on voir à l'œil nu? Combien nos catalogues en contiennent-ils, c'est-à-dire, quel est le nombre de celles dont la position est exactement connue? Combien y a-t-il d'étoiles comprises dans les divers ordres d'éclat, depuis la 1re jusqu'à la 9e et à la 10e grandeur? On peut actuellement répondre à ces trois questions, au moins d'une manière approximative; la science possède pour cela des matériaux suffisants. Il en est autrement de ces recherches purement conjecturales qu'on a voulu baser sur les jauges stellaires de certaines parties isolées de la Voie lactée, afin d'arriver à résoudre théoriquement cette question. Combien d'étoiles peut-on discerner sur la voûte entière du ciel, à l'aide du télescope de 20 pieds d'Herschel? Problème qui doit comprendre les astres dont la lumière emploie, dit-on, 2000 ans à venir jusqu'à nous [69].

Les résultats numériques que je publie ici sur ce sujet sont dus, en grande partie, aux recherches de mon honorable ami Argelander, directeur de l'Observatoire de Bonn. J'avais prié l'auteur de la *Révision du Ciel boréal,* de soumettre les données actuelles de nos catalogues à un nouvel examen. Pour la dernière classe de grandeur, il y a quelque incertitude provenant des divergences de l'appréciation individuelle: ces divergences se font sentir surtout vers les limites de la visibilité à l'œil nu, quand il faut séparer les étoiles de 6e à 7e grandeur des étoiles de 6e grandeur. Argelander a trouvé, en moyenne, par un grand nombre de

combinaisons, que le nombre des étoiles visibles à l'œil nu, dans tout le ciel, est de 5000 à 5800, et que les étoiles comprises dans chaque classe forment à peu près la série des nombres suivants, en allant jusqu'à la 9ᵉ grandeur (70):

1re grandeur,		20	étoiles.
2e	—	65	—
3e	—	190	—
4e	—	425	—
5e	—	1100	—
6e	—	3200	—
7e	—	13000	—
8e	—	40000	—
9e	—	142000	—

Le nombre des étoiles que l'on peut nettement distinguer à la vue simple, en un lieu donné, paraît au premier coup d'œil extrêmement faible: on en voit 4146 dans la portion du ciel visible sur l'horizon de Paris, et 4638 à Alexandrie (71). Le rayon moyen du disque de la Lune étant de 15′ 33″,5, il faut 195291 aires égales au disque de cet astre pour couvrir la surface entière du ciel. En admettant donc que les 200000 étoiles (en nombre rond), comprises entre la 1re et la 9e grandeur, soient réparties uniformément, il n'y aurait qu'une étoile pour chacune de ces aires égales au disque entier de la Lune; et comme cet astre emploie 44m 30s pour décrire sur le ciel une aire égale à celle de son propre disque, il ne saurait rencontrer plus d'une étoile, en moyenne, dans ce même laps de temps. Si donc on voulait étendre jusqu'aux étoiles de 9e grandeur l'annonce calculée des occultations d'étoiles par la Lune, on trouverait qu'un phénomène de ce genre doit se reproduire, en moyenne, à chaque intervalle de 44m 30s. On comprend, d'après cela, comment il se fait que la Lune occulte si peu d'étoiles visibles à l'œil nu, dans sa marche à travers les constellations.

Il n'est pas sans intérêt de comparer les énumérations des anciens avec celles des modernes. Or Pline, qui connaissait certainement le catalogue d'Hipparque, et le nom-

mait une entreprise audacieuse, disant que « Hipparque avait voulu léguer le ciel à la postérité, » Pline ne comptait que 1600 étoiles visibles sur le beau ciel de l'Italie ([72]) ! Il avait pourtant fait entrer largement les étoiles de 5e grandeur dans son énumération. Un demi-siècle plus tard, le catalogue de Ptolémée indique seulement 1025 étoiles, jusqu'à la 6e grandeur.

Depuis qu'on ne se borne plus à classer les étoiles d'après les diverses parties qu'elles occupent dans leurs constellations respectives, mais d'après leur position par rapport à l'équateur ou à l'écliptique, les progrès de cette branche de la science se sont réglés constamment sur ceux des instruments de mesure. Aucun catalogue ne nous est parvenu de l'époque d'Aristille et de Timocharis (283 ans avant J. C.). Leurs observations étaient faites grossièrement (πάνυ ὁλοσχερῶς), d'après un fragment d'Hipparque *sur la Longueur de l'Année*, cité dans le 7e livre de l'Almageste (cap. III, pag. 15, éd. Halma); cependant il paraît certain qu'ils ont déterminé les déclinaisons d'un nombre d'étoiles considérable, près de 150 ans avant l'époque du catalogue stellaire d'Hipparque. On sait comment l'apparition d'une étoile nouvelle engagea Hipparque à faire une révision complète des étoiles; mais nous n'avons sur ce point d'autre témoignage que celui de Pline, témoignage accusé plus d'une fois de n'être que l'écho d'un bruit inventé après coup ([73]). Ptolémée n'en parle point. Toujours est-il que le grand catalogue de Tycho a précisément cette origine. Comme Hipparque, Tycho fut déterminé à entreprendre son catalogue par l'apparition subite d'une étoile brillante dans Cassiopée, vers le mois de novembre 1572. Sir John Herschel pense qu'une étoile nouvelle, vue dans le Scorpion 134 ans avant notre ère, pourrait bien être celle dont Pline a parlé ([74]). D'après les annales chinoises, elle parut au mois de juillet, sous le règne de Vou-ti, de la dynastie des Han, six années avant l'époque à laquelle les recherches d'Ideler fixent l'élaboration du catalogue d'Hipparque. C'est Édouard Biot, dont les sciences regrettent la perte

prématurée, qui a découvert la mention de ce curieux phénomène dans la célèbre collection de Ma-tuan-lin, où sont rapportées toutes les apparitions de comètes et d'étoiles singulières qui ont eu lieu entre l'an 613 avant J. C. et l'an 1222 de l'ère chrétienne.

Le poëme didactique d'Aratus, auquel nous devons le seul écrit d'Hipparque qui nous soit parvenu, remonte aux temps d'Ératosthène, de Timocharis et d'Aristille (75). La partie astronomique de ce poëme, qui contient aussi une partie météorologique, est basée sur la sphère d'Eudoxe de Cnide. Le catalogue d'Hipparque ne nous a point été conservé, quoiqu'il fit partie, d'après Ideler, et même partie essentielle de l'œuvre citée par Suidas sur *la Distribution des Étoiles et des Astres* (76). Cette table renfermait les positions de 1080 étoiles pour l'an 128 avant notre ère. Les positions données par Hipparque, dans son Commentaire sur Aratus, ont été déterminées, sans doute, à l'aide de l'armille équatoriale, non avec l'astrolabe; car elles sont toutes rapportées à l'équateur d'après la déclinaison et l'ascension droite. Au contraire, le catalogue de Ptolémée, où l'on trouve 1025 positions d'étoiles et 5 *stellæ nebulosæ*, est rapporté à l'écliptique (77), et ne contient que les latitudes et les longitudes (*Almageste*, éd. Halma, t. II, p. 83). On croit que c'est une simple reproduction du catalogue d'Hipparque transformé par le calcul. Voici comment ces étoiles sont réparties entre les différentes classes de grandeurs:

1re	grandeur, .	15	étoiles.
2e	—	45	—
3e	—	208	—
4e	—	474	—
5e	—	217	—
6e	—	49	—

On devait s'attendre à trouver des nombres beaucoup trop faibles pour la 5e et la 6e classe; mais la richesse de la 3e et de la 4e est remarquable. Toute autre comparaison plus détaillée entre ce vieux catalogue et les catalogues moder-

nes serait d'ailleurs nécessairement illusoire, à cause du vague qui affecte toujours l'estimatiou des grandeurs.

Nous avons vu que le catalogue stellaire, dit de Ptolémée, contient seulement le quart des étoiles visibles à l'œil nu sur l'horizon de Rhodes ou d'Alexandrie: il faut ajouter que, par suite des réductions basées sur une fausse valeur de la précession, les positions d'étoiles qu'on y trouve paraîtraient avoir été observées, non à l'époque d'Hipparque, mais vers l'an 63 de notre ère. Dans les seize siècles suivants, nous ne trouvons plus que trois catalogues complets et fondés sur des observations originales; celui d'Oulough Beg, en 1437; celui de Tycho, en 1600, et celui d'Hevelius, en 1660. Au milieu des ravages de la guerre et des plus sauvages bouleversements, c'est à peine si les sciences purent mettre à profit de rares intervalles de repos, entre le IXe siècle et le milieu du XVe; mais ce furent là des époques de splendeur pour l'astronomie observatrice. Elle fut brillamment cultivée parmi les Arabes, les Persans, les Mogols, depuis Al-Mamoun, fils de Haraoun Al-Raschid, jusqu'au fils du Schah Rokh, le Timouride Mohammed Taraghi Oulough Beg. Les tables astronomiques d'Ebn-Jounis, composées en 1007 et nommées tables hakémitiques en l'honneur du calife fatimite Aziz Ben-Hakem Biamrilla, ainsi que les tables ilkhaniennes ([78]) de Nasir-Eddin Tousi, fondateur du grand observatoire de Meragha, qui datent de 1259, nous montrent assez quels progrès avait faits la connaissance des mouvements planétaires, et combien on avait su perfectionner les instruments de mesure et les méthodes de Ptolémée. Déjà même les oscillations du pendule étaient employées pour la mesure du temps, concurremment avec les clepsydres ([79]). Il faut reconnaître aux Arabes le grand mérite d'avoir montré comment on peut perfectionner les tables astronomiques, en les comparant assidûment aux observations. Le catalogue d'Oulough Beg, primitivement écrit en persan, est basé sur les observations originales du gymnase de Samarcande, sauf quelques étoiles australes invisibles sous la latitude de 39° 52′ (?) et em-

pruntées à Ptolémée ([80]). Il ne contient aussi que 1019 positions d'étoiles réduites à l'an 1437. Un commentaire subséquent contient 300 étoiles de plus, dont les positions ont été déterminées en 1533 par Abou-Bekri Altizini. Nous arrivons ainsi, par les Arabes, les Persans et les Mogols, à la grande époque de Copernic et presqu'à celle de Tycho.

Dès le commencement du xvi[e] siècle, les progrès de la navigation, entre les tropiques et sous les hautes latitudes australes, contribuèrent puissamment à l'extension incessante de nos connaissances sur le ciel étoilé, bien moins pourtant que ne fit, un siècle plus tard, l'invention des lunettes. Ces deux conquêtes donnaient accès à de nouvelles régions, à des espaces auparavant inconnus dans le ciel. J'ai dit ailleurs ce que nous devons, pour le ciel austral, aux premiers navigateurs, à Amerigo Vespucci, puis à Pigafetta, compagnon de Magellan et d'Elcano. Vicente Yanez Pinzon et Acosta nous firent connaître, les premiers, ces taches noires du ciel austral surnommées *Sacs à Charbon;* Anghiera et Andrea Corsali décrivirent les Nuées de Magellan ([81]). Là encore l'astronomie descriptive précéda l'astronomie des mesures. Il y eut aussi des exagérations: l'ingénieux Cardan affirmait que dans les régions célestes, voisines du pôle austral, si pauvre en étoiles comme on sait, Amerigo Vespucci en avait compté 10000 à l'œil nu ([82]). Après avoir décrit, on commença enfin à mesurer. Frédéric Houtman et Pierre Theodori van Emden ou Dirkz Keyser, car Olbers croit que ces deux noms s'appliquent à la même personne, mesurèrent, à Java et à Sumatra, les distances angulaires des étoiles. Grâce à ces observations les étoiles australes purent être inscrites dans les cartes célestes de Bartsch, de Hondius et de Bayer; Képler en ajouta les positions au catalogue de Tycho, dans les Tables Rudolphines.

Un demi-siècle à peine s'est écoulé depuis le voyage de Magellan autour du monde, et Tycho commence ses travaux sur le ciel étoilé, travaux admirables dont l'exactitude surpasse tout ce que l'astronomie pratique avait produit jus-

qu'alors, même sans en excepter les observations du Landgrave Guillaume IV, à Cassel. Cependant le catalogue de Tycho, calculé et édité par Képler, ne comprend encore que 1000 étoiles dont le quart tout au plus se compose d'étoiles de 6e grandeur. Ce catalogue et celui d'Hevelius, qui est beaucoup moins employé et contient 1564 positions pour l'an 1660, sont les derniers produits de l'observation à l'œil nu, dont le règne a été prolongé par l'obstination d'Hevelius, qui repoussa constamment l'application des lunettes aux instruments de mesures.

Cette application permit enfin d'étendre au delà de la 6e grandeur la détermination des lieux des étoiles. De ce moment les astronomes sont entrés, pour ainsi dire, en possession de l'univers sidéral. Mais si l'étude des étoiles télescopiques, la détermination de leur nombre et de leurs positions ont étendu le champ de nos idées sur l'univers, ce n'est pas là l'unique avantage qu'on en ait tiré. Cette étude a exercé, ce qui est d'une bien autre importance, une influence essentielle sur la connaissance de notre propre monde, en amenant la découverte de planètes nouvelles, et en donnant aux calculateurs les moyens de déterminer plus promptement leurs orbites. Lorsque William Herschel eut conçu l'heureuse idée de sonder les profondeurs de l'espace et de compter, dans ses *jauges* à différentes distances de la Voie lactée ([83]), les étoiles qui traversaient le champ de ses grands télescopes, il devint possible de saisir la loi suivant laquelle les étoiles s'accumulent dans les diverses régions. Cette loi fit naître, à son tour, les conceptions grandioses par lesquelles on se représente la Voie lactée, avec ses divisions multiples, comme la perspective d'une série d'immenses anneaux stellaires concentriques et contenant des millions d'étoiles. D'un autre côté, l'étude minutieuse des plus petites étoiles et de leurs positions relatives a singulièrement aidé à la decouverte des planètes qui voyagent au milieu d'elles, comme les eaux d'un fleuve entre des rives immobiles. Voyez, en effet, avec quelle facilité Galle a pu trouver Neptune, sur la première indication de Le Ver-

rier, et combien de petites planètes ont été découvertes, grâce à la connaissance approfondie du ciel, jusque dans ses moindres détails. Mais on va sentir encore mieux toute l'importance que peuvent acquérir des catalogues aussi complets que possible. Dès qu'une nouvelle planète à été découverte au ciel, les astronomes s'efforcent aussitôt de la découvrir une seconde fois, pour ainsi dire, dans les anciens catalogues. Si cet astre a été pris autrefois pour une étoile ordinaire, s'il a été observé et inscrit à ce titre dans un catalogue, ce document rétrospectif sera souvent plus utile pour déterminer une orbite dont la forme se dessine avec lenteur, que ne seraient plusieurs années d'observations postérieures. C'est ainsi que le nº 964 du catalogue de Tobie Mayer a joué un grand rôle dans la théorie d'Uranus, et le nº 26266 de Lalande dans celle de Neptune ([84]). Avant qu'on n'y eût reconnu une planète, Uranus avait été observé 21 fois: 7 fois par Flamsteed, 1 fois par Tobie Mayer, 1 fois par Bradley, 12 fois par le Monnier. L'espérance de voir augmenter encore le nombre des astres de notre monde planétaire ne repose pas seulement sur la puissance actuelle de nos lunettes; il faut peut-être compter encore plus sur l'étendue de nos catalogues et le soin des observateurs. Quand on découvrit Hébé, cette planète était de 8ᵉ à 9ᵉ grandeur (juillet 1847); lorsqu'on la revit en mai 1849, elle n'était plus que de 11ᵉ grandeur.

Le premier catalogue qui ait paru, depuis l'époque où Morin et Gascoigne enseignèrent à réunir les lunettes aux instruments de mesure, c'est le catalogue des étoiles australes dont Halley avait déterminé la position, pendant le court séjour qu'il fit à Sainte-Hélène, en 1677 et 1678. Il est assez étrange que ce catalogue ne contienne point d'étoiles au-dessous de la 6ᵉ grandeur ([85]). Flamsteed avait entrepris longtemps auparavant la construction de son grand Atlas céleste; mais l'œuvre de ce célèbre astronome parut seulement en 1712. Puis vinrent les travaux de Bradley qui conduisirent à la découverte de l'aberration et de la nutation, et sa belle série d'observations, faites de 1750 à

1762, dont Bessel a fait connaître toute le valeur, en 1818, par ses *Fundamenta Astronomiæ* [86]. Enfin parurent les catalogues de Lacaille et de Tobie Mayer, ceux de Cagnoli, de Piazzi, de Zach, de Pond, de Taylor, et de Groombridge, ceux d'Argelander, d'Airy, de Brisbane et de Rümker.

Choisissons, parmi tant de travaux remarquables, les catalogues qui se recommandent par leur grande étendue, et qui comprennent une bonne part des étoiles de la 7e à la 10e grandeur. Nous rencontrons d'abord l'*Histoire céleste française* de Jérôme de Lalande, à laquelle on vient de rendre une tardive mais éclatante justice. Ce catalogue est fondé sur des observations faites de 1789 à 1800, par Le Français de Lalande et Burckhardt. Calculé et réduit soigneusement, par ordre de l'*Association Britannique pour l'Avancement des Sciences*, et sous la direction de Francis Baily, il contient 47390 étoiles ; beaucoup sont de 9e grandeur, quelques-unes sont plus faibles encore. Harding, auquel on doit la découverte de Junon, a consigné dans son Atlas en 27 cartes, plus de 50000 positions d'étoiles tirées de la vaste collection française. Les *zones* de Bessel, contenant 75000 observations, depuis le parallèle céleste de — 15° jusqu'à celui de + 45°, ont exigé huit années de labeur. Commencé en 1825, ce grand travail a été terminé en 1833. De 1841 à 1843, Argelander a continué ces zones jusqu'au parallèle de 80°, et a fixé, avec une admirable exactitude, les lieux de 22000 étoiles [87]. Enfin les zones de Bessel ont été réduites et calculées, en grande partie, par les soins de l'Académie de Saint-Pétersbourg: Weisse, directeur de l'Observatoire de Cracovie, chargé de ce travail, a calculé, pour 1825, les positions de 31895 étoiles dont 19738 seulement sont de 9e grandeur [88].

Il me reste à mentionner les *Cartes de l'Académie de Berlin*. Pour parler dignement de cette œuvre immense, je ne crois pas pouvoir mieux faire que d'emprunter le passage suivant à l'éloge de Bessel, prononcé par Encke [89]: « On sait que Harding a puisé, dans l'*Histoire Céleste* de Lalande, les éléments de son Atlas, où le ciel étoilé se trouve si ad-

mirablement représenté. De même Bessel, après avoir terminé, en 1824, la première partie de ses zones, proposa de baser des cartes célestes encore plus détaillées sur ces nouvelles observations. D'après le plan de Bessel, il ne s'agissait pas de retracer seulement les lieux observés; il fallait encore rendre ces cartes assez complètes pour qu'en les comparant plus tard avec le ciel, il fût possible de reconnaître immédiatement les planètes les plus faibles, et de les distinguer au milieu des étoiles fixes, sans avoir besoin d'attendre un changement de position, toujours long et difficile à constater. Le projet de Bessel n'a pas encore été exécuté dans toute son étendue; et déjà cependant les Cartes de l'Académie de Berlin ont réalisé, de la manière la plus brillante, les espérances du promoteur de cette entreprise. Ce sont ces cartes, en effet, qui ont amené ou du moins facilité la découverte récente de sept nouvelles planètes (1850). » Des 24 cartes qui doivent représenter une zone comprise entre les parallèles de 15°, de chaque côté de l'équateur, l'Académie de Berlin en a déjà publié 16, où l'on s'est astreint à représenter, autant que possible, toutes les étoiles comprises dans les 9 premiers ordres de grandeur, et même une partie des étoiles de 10e grandeur.

C'est ici le lieu de rappeler les tentatives qu'on a faites pour estimer le nombre des étoiles rendues visibles, dans tout le ciel, par les puissants instruments optiques dont l'astronomie dispose aujourd'hui. Struve admet que le célèbre télescope de 20 pieds, employé par W. Herschel, dans ses jauges (*gauges, sweeps*) avec un grossissement de 180 fois, fait voir 5,800,000 étoiles dans les deux zones qui s'étendent à 30° au nord et au sud de l'équateur, et 20,374,000 dans le ciel entier. Avec un instrument encore plus puissant, le télescope de 40 pieds, Sir William Herschel portait à 18,000,000 le nombre des étoiles contenues dans la seule Voie lactée (90).

Bornons-nous ici aux énumérations basées sur les observations effectives et sur les catalogues actuels, tant pour les étoiles visibles à l'œil nu, que pour les étoiles télesco-

piques, et voyons maintenant de quelle manière ces astres sont disséminés ou groupés sur la voûte céleste. Nous avons vu déjà que les étoiles peuvent servir de points de repère dans l'immensité de l'espace; malgré les petits mouvements apparents ou réels dont elles sont animées, l'astronome rapporte à ces points *fixes* tout ce qui se meut plus rapidement dans le ciel, les comètes, par exemple, ou les planètes de notre système. Au premier coup d'œil jeté sur le firmament, ce sont les étoiles qui, par leur multitude et la prépondérance de leurs masses, saisissent d'abord notre intérêt; elles sont la source des sentiments d'admiration ou d'étonnement que l'aspect du ciel fait naître en nous. Mais les mouvements des astres errants répondent mieux à la nature scrutatrice de la raison, car là est l'origine et le but de ces difficiles problèmes dont la solution provoque incessamment l'essor de la science.

Au milieu de cette multitude d'astres grands et petits, dont la voûte céleste est semée comme par hasard, le regard s'arrête spontanément sur des groupes d'étoiles brillantes, associées en apparence par une proximité frappante, ou bien sur des étoiles remarquables par leur éclat et par un certain isolement dans la région qu'elles occupent. Ces groupes naturels font pressentir obscurément un lien, une dépendance quelconque entre les parties et l'ensemble. Ils ont été remarqués à toutes les époques, même par les races d'hommes les plus grossières. Les recherches que l'on a faites, dans ces derniers temps, sur les langues de plusieurs tribus dites sauvages, en font foi; on retrouve même presque toujours, d'une race à l'autre, des groupes identiques sous des noms différents, et ces noms, empruntés d'ordinaire au règne organique, donnent une vie fantastique à la solitude et au silence des cieux. Ainsi furent distinguées de bonne heure les 7 étoiles des Pléiades ou la Poussinière, les 7 étoiles du Grand Chariot, celles du Baudrier d'Orion (bâton de Jacob), de Cassiopée, du Cygne, du Scorpion, de la Croix du Sud, si remarquable par son changement de direction au lever et au coucher, de la

Couronne australe, des Pieds du Centaure, qui forment une espèce de constellation des Gémeaux dans l'hémisphère austral, etc. Quant au Petit Chariot, c'est une constellation moins ancienne, qui ne doit son origine qu'à une répétition frappante de la forme du Grand Chariot.

Là où des steppes, de vastes prairies ou des déserts de sable présentent un large horizon, le lever et le coucher des constellations, variant sans cesse avec les saisons, les travaux de l'agriculture et les occupations des peuples pasteurs, ont été, dès les premiers âges, l'objet d'une étude attentive et d'une association d'idées symboliques. C'est ainsi que l'astronomie contemplative, non pas celle qui a pour objet les mesures et les calculs, a commencé à se développer. Outre le mouvement diurne, commun à tous les corps célestes, on reconnut bientôt au Soleil un autre mouvement beaucoup moins rapide, qui s'accomplit dans une direction opposée. Les étoiles que l'on voit le soir à l'occident se rapprochent du Soleil et finissent par se perdre dans ses rayons, pendant le crépuscule, tandis que les étoiles qui brillent au ciel avant l'aurore s'écartent du Soleil, et le devancent de plus en plus. Le spectacle mouvant du ciel offre sans cesse à nos yeux de nouvelles constellations. Mais, avec un peu d'attention, il fut facile de reconnaître que les étoiles du matin étaient les mêmes étoiles qu'on avait vues auparavant disparaître dans l'ouest, et que les constellations, d'abord voisines du Soleil, se retrouvaient six mois après à l'opposite, se couchant quand le Soleil se lève, et se levant à l'heure de son coucher. D'Hésiode à Eudoxe, d'Eudoxe à Aratus, la littérature des Grecs est remplie d'allusions à ces phénomènes annuels du lever et du coucher héliaque des étoiles. C'est dans l'observation exacte de ces phénomènes que furent puisés les premiers éléments de l'art de mesurer le temps : éléments que déjà la science naissante exprimait froidement par des nombres, tandis que l'imagination sombre ou riante des peuples livrait les espaces célestes aux caprices de la mythologie.

Les Grecs enrichirent peu à peu leur sphère primitive de constellations nouvelles, bien avant de songer à les coordonner d'une manière quelconque avec l'écliptique. On voit que j'adopte encore ici, comme dans l'*Histoire de l'Étude du Monde physique*, les vues de mon célèbre et regrettable ami Letronne ([91]). Ainsi Homère et Hésiode connaissaient déjà certaines constellations et nommaient certaines étoiles. Homère cite la Grande Ourse qu'on appelait déjà le chariot céleste et qui « ne se baigne pas dans les eaux de l'Océan ; » il parle du Bouvier et du Chien d'Orion. Hésiode nomme Sirius et Arcturus. Homère et Hésiode connaissaient les Pléiades, les Hyades et la constellation d'Orion ([92]). Si le premier dit, à deux reprises, que l'Ourse *seule* ne se plonge jamais dans la mer, il s'ensuit uniquement qu'on n'avait pas encore formé, à cette époque, les constellations du Dragon, de Céphée et de la Petite Ourse qui ne se couchent pas davantage. C'étaient les astérismes, non les étoiles dont ils se composent, qu'on ignorait alors. Un long passage de Strabon, souvent mal interprété (Strab., lib. I, p. 3 ; éd. Casaubon), établit complètement la thèse capitale dont il s'agit ici, à savoir : l'introduction successive des constellations dans la sphère grecque. « C'est à tort, dit Strabon, que l'on accuse Homère d'ignorance, parce qu'il n'a parlé que d'une des deux Ourses célestes. Probablement la seconde constellation n'avait point encore été formée à son époque. Ce sont les Phéniciens qui la formèrent les premiers et s'en servirent pour naviguer ; elle vint plus tard chez les Grecs. » Tous les Scoliastes d'Homère, Hygin et Diogène de Laërte attribuent à Thalès l'introduction de cette constellation. Le Pseudo-Eratosthène nomme la Petite Ourse Φοινίκη, pour indiquer qu'elle servait de guide aux Phéniciens. Un siècle plus tard, vers la 71ᵉ Olympiade, Cléostrate, de Ténédos, enrichit la sphère du Sagittaire, Τοξότης, et du Bélier, Κριός.

C'est de cette époque, c'est-à-dire de la tyrannie des Pisistratides, que Letronne fait dater l'introduction du zodiaque dans l'ancienne sphère des Grecs. Eudémus, de Rho-

des, un des élèves les plus distingués du Stagirite et auteur d'une Histoire de l'Astronomie, attribue l'introduction de la zone zodiacale (ἡ τοῦ ζωδιακοῦ διάζωσις, ou ζωίδιος κύκλος) à OEnopide, de Chio, contemporain d'Anaxagore ([93]). L'idée de rapporter les lieux des planètes et des étoiles à l'orbite solaire, la division de l'écliptique en douze parties égales (dodécatémories), appartient à l'antiquité chaldéenne, d'où elle parvint directement aux Grecs, sans passer, comme on l'a cru, par la vallée du Nil. La date de cette transmission ne remonte même pas au delà du commencement du v[e] ou du vi[e] siècle avant notre ère ([94]). Les Grecs se bornèrent à subdiviser, dans leur sphère primitive, les constellations qui se rapprochaient le plus de l'écliptique et qui pouvaient servir de constellations zodiacales. La preuve en est simple: si les Grecs avaient pris à un peuple étranger un zodiaque complet, au lieu de borner leurs emprunts à l'idée de partager l'écliptique en dodécatémories, on ne retrouverait point chez eux onze constellations seulement dans le zodiaque, une d'entre elles, le Scorpion, ayant été partagée en deux pour compléter le nombre nécessaire. Leurs divisions zodiacales auraient été plus régulières ; elles n'auraient point embrassé des espaces de 35 à 48 degrés, comme le Taureau, le Lion, les Poissons et la Vierge, tandis que le Cancer, le Bélier et le Capricorne en comprennent de 19 à 23 seulement. Leurs constellations n'auraient point été disposées irrégulièrement au nord et au sud de l'écliptique, tantôt occupant sur ce cercle de grands intervalles, tantôt resserrées, au contraire, et empiétant l'une sur l'autre, comme le Taureau et le Bélier, le Verseau et le Capricorne. Preuves évidentes que les Grecs ont fait les signes du zodiaque avec leurs anciennes constellations.

D'après Letronne, le signe de la Balance a été introduit du temps d'Hipparque, et peut-être par Hipparque lui-même. Eudoxe, Archimède, Autolycus n'en font pas mention. Hipparque lui-même n'en parle point dans le peu qui nous reste de lui, excepté dans un seul passage qui a été falsifié

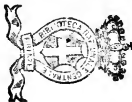
probablement par un copiste (95). Il est question pour la première fois de ce nouveau signe, dans les écrits de Geminus et de Varron, un demi-siècle à peine avant notre ère; et comme la passion de l'astrologie fit irruption dans le monde romain, entre le règne d'Auguste et celui d'Antonin, il arriva aussi que les constellations « situées sur le chemin céleste du Soleil » acquirent une importance démesurée, chimérique. C'est à la première moitié de cette période de la domination romaine qu'appartiennent les représentations zodiacales des temples de Dendéra et d'Esné, celles des propylônes de Panopolis et des enveloppes de plusieurs momies. Ajoutons que ces vérités désormais acquises avaient été déjà soutenues par Visconti et Testa, avant même que les preuves décisives eussent été rassemblées, dans un temps où l'on donnait cours aux plus singulières théories sur la signification symbolique des représentations zodiacales et sur leurs prétendus rapports avec la précession des équinoxes. Quant à la haute antiquité que A. W. de Schlegel attribuait aux zodiaques indiens, en se fondant sur quelques passages des Lois de Manou, du Ramayana de Valmiki ou du dictionnaire d'Amarasinha, c'est un point devenu bien douteux depuis les ingénieuses recherches d'Adolphe Holtzmann (96).

Ces constellations formées au hasard, dans le cours des siècles, sans but déterminé, la grandeur incommode, l'indétermination de leurs contours, les désignations compliquées des étoiles composantes pour lesquelles il a fallu parfois épuiser des alphabets entiers, témoin le Navire Argo, le peu de goût avec lequel on a introduit dans le ciel austral la froide nomenclature d'instruments usités dans les sciences, tels que la Pendule ou le Fourneau de Chimie, à côté des allégories mythologiques, tous ces défauts accumulés ont déjà suggéré plusieurs fois des plans de réforme pour les divisions stellaires et le projet d'en bannir toute configuration. Il faut l'avouer, la tentative a dû paraître moins hasardée pour l'hémisphère austral que pour le nôtre; car, dans le premier, le Scorpion, le Sagittaire, le Centaure, le

Navire et l'Éridan sont les seules constellations auxquelles la poësie ait donné droit de cité ([97]).

Ces mots de voûte étoilée (*orbis inerrans* d'Apulée) ou d'étoiles fixes (*astra fixa* de Manilius) sont autant d'expressions impropres qui rappellent, avons-nous dit ([98]), que l'on a réuni, ou plutôt confondu, deux idées différentes. Quand Aristote emploie l'expression de ἐνδεδεμένα ἄστρα (astres fixés) pour désigner les étoiles; quand Ptolémée les nomme προσπεφυκότες (adhérents), il est bien évident que ces désignations se rapportent à la sphère cristalline d'Anaximène. Le mouvement diurne qui entraîne tous ces astres de l'est à l'ouest, sans changer leurs distances mutuelles, avait dû conduire tout d'abord à des idées ou à des hypothèses de ce genre: « Les étoiles (ἀπλανῆ ἄστρα) appartiennent aux régions supérieures; elles y sont fixées et comme clouées sur une sphère de cristal; les planètes (ἄστρα πλανώμενα ou πλανητά), qui ont un autre mouvement en sens inverse, appartiennent à des régions inférieures et plus voisines de nous ([99]). » Si dès les premiers temps de l'ère des Césars, on trouve, dans Manilius, le terme de *Stella fixa* au lieu de *infixa* ou *affixa*, il est à croire qu'on s'en était tenu d'abord, dans l'école romaine, au sens primitif dont nous venons de parler, mais qu'à la longue, le mot *fixus* emportant avec lui le sens d'*immotus* et d'*immobilis*, il s'est fait peu à peu, dans la croyance populaire, ou plutôt dans le langage même, une confusion où l'idée d'immobilité a dû prévaloir; de telle sorte que les étoiles sont devenues *fixes* (stellæ fixæ), indépendamment de la sphère à laquelle on concevait autrefois qu'elles étaient attachées. Voilà comment Sénèque a pu dire, du monde des étoiles, *fixum et immobilem populum.*

Si nous prenons pour guides Stobée et le collecteur des « Opinions des Philosophes, » et que nous suivons la trace de cette idée d'une sphère de cristal jusqu'à l'époque antique d'Anaximène, nous la retrouvons encore plus nettement formulée par Empédocle. Ce philosophe considère la sphère des fixes comme une masse solide, formée d'une



partie de l'éther que l'élément igné aurait converti en cristal ([100]). La Lune est, à ses yeux, une matière que la puissance du feu a coagulée en forme de grêlon et qui reçoit sa lumière du Soleil. Dans la physique des anciens et d'après leur manière de concevoir le passage de l'état fluide à l'état solide, les conceptions précédentes n'étaient point en relation nécessaire avec les idées de refroidissement et de congélation ; mais l'affinité du mot κρύσταλλος avec κρύος et κρυσταίνω, et un rapprochement naturel avec la matière qui sert vulgairement de type pour la transparence, ont donné corps à des idées d'abord moins précises ([1]) ; on en est venu à voir, dans la voûte céleste, une sphère de glace, ou de verre, et Lactance a pu dire : *Cœlum aërem glaciatum esse*, et ailleurs : *Vitreum cœlum*. Sans doute Empédocle n'a point songé au verre, invention phénicienne, mais bien à l'air que l'éther igné aurait transformé en un corps solide éminemment translucide. Au reste, quand il s'agissait de cette glace (κρυσταλλος), on sent bien que l'idée de transparence était l'idée dominante ; on écartait celle du froid pour ne songer qu'à un corps devenu solide, tout en restant transparent. Le poëte employait le mot de cristal ; mais le prosateur disait seulement κρυσταλλοειδής, semblable au cristal, témoin ce passage d'Achille Tatius, le commentateur d'Aratus, que j'ai rapporté dans l'avant-dernière note. De même, le mot πάγος (de πήγνυσθαι, se solidifier) veut bien dire aussi un morceau de glace, mais il faut se borner ici au sens relatif à la solidification.

Ce sont les Pères de l'Église qui ont transmis au moyen âge l'idée d'une voûte de cristal. Ils l'avaient prise au pied de la lettre, et, renchérissant encore sur l'idée primitive, ils imaginaient un ciel de verre formé de huit à dix couches superposées à peu près comme les peaux d'un oignon. Cette conception singulière se serait même perpétuée dans certains cloîtres de l'Europe méridionale, si j'ai bien compris le propos que me tenait un vénérable prince de l'Église, au sujet du fameux aérolithe d'Aigle, dont on était alors vivement préoccupé. Cette prétendue pierre météo-

rique, recouverte d'une croûte vitrifiée, n'était point la pierre elle-même, disait-il, à ma grande surprise, mais un simple fragment du ciel de cristal qu'elle avait dû briser en tombant. Képler s'était vanté, deux siècles et demi auparavant, d'avoir brisé les 77 sphères homocentriques du célèbre Girolamo Fracastoro et tous les épicycles des anciens, en démontrant que les comètes coupent et traversent en tous sens les orbites planétaires (²). Quant à savoir si de grands esprits, tels qu'Eudoxe, Ménechme, Aristote et Apollonius de Perge, ont cru à la réalité de ces sphères emboîtées l'une dans l'autre et conduisant les planètes, ou si cette conception n'était pas plutôt pour eux une combinaison fictive, servant à simplifier les calculs et à guider l'esprit à travers les difficiles détails du problème des planètes, c'est un point que j'ai traité ailleurs et dont il est impossible de méconnaître l'importance, lorsqu'on veut rechercher dans l'histoire de l'astronomie les phases successives du développement de l'esprit humain (³).

Laissons désormais l'antique, mais artificielle division des étoiles en constellations zodiacales, et la sphère solide à laquelle on les croyait fixées. Mais avant de passer à l'étude des groupes naturels qu'elles forment en réalité et aux lois de leur distribution dans l'espace, arrêtons-nous un instant à quelques phénomènes particuliers, tels que les rayons parasytes, les diamètres factices et les couleurs variées des étoiles J'ai déjà mentionné, à propos des lunes de Jupiter (⁴), les rayons qui paraissent, à l'œil nu, émaner des étoiles brillantes, sortes de queues dont le nombre, la position et la longueur varient, au reste, pour chaque observateur. La vision indistincte est due à plusieurs causes de nature organique; elle dépend de l'aberration de sphéricité de l'œil, de la diffraction qui se produit aux bords de la pupille ou des cils, et de la manière irrégulière dont l'irritabilité de la rétine propage, autour de chaque point l'impression directement reçue (⁵). Je vois très-régulièrement huit rayons, inclinés l'un sur l'autre de 45°, autour des étoiles de 1re, 2e et 3e grandeur. D'après la théorie d'Has-

senfratz, ces queues sont les caustiques du cristallin formées par l'intersection mutuelle des rayons réfractés; elles suivent donc les mouvements de la tête, et s'inclinent avec elle à droite ou à gauche (6). Quelques astronomes de mes amis voient au-dessus des étoiles trois ou quatre rayons, et n'en voient point au-dessous. Il m'a toujours paru bien remarquable que les anciens Égyptiens aient donné constamment aux étoiles cinq rayons disposés à 72° d'intervalle; d'après Horapollo, l'image d'une étoile signifie le nombre 5 dans le langage hiéroglyphique (7).

Les queues des étoiles disparaissent, quand on les regarde à travers un très-petit trou percé dans un carte avec une aiguille; j'ai fait souvent cette épreuve sur Sirius et sur Canopus. Il en est de même lorsqu'on emploie des lunettes armées de grossissements notables; alors les étoiles apparaissent comme des points d'un éclat très-intense, ou plutôt comme des disques excessivement petits. Ces détails ne sont point sans intérêt; les effets dont il s'agit concourent à la magnificence de la voûte étoilée. Peut-être la vision indistincte favorise-t-elle cet effet; car la faible scintillation et l'absence complète de ces rayons stellaires, sous le ciel des Tropiques, m'ont toujours paru augmenter le calme de la nuit et dépeupler en quelque sorte la voûte étoilée. Voici encore, à ce sujet, une question qu'Arago a soulevée depuis bien longtemps: pourquoi ne peut-on pas voir les étoiles de première grandeur à leur lever malgré leur vif éclat, tandis qu'on voit le premier bord de la Lune, dès qu'il atteint l'horizon (8)?

Les instruments optiques les plus parfaits, munis des plus forts grossissements, donnent aux étoiles des diamètres factices (spurious disks), lesquels deviennent d'autant plus petits, d'après la remarque de Sir John Herschel, que l'ouverture de la lunette est elle-même plus grande (9). Les occultations d'étoiles par la Lune, sont exemptes de cette cause d'erreur, aussi l'immersion et l'émersion se font-elles instantanément; il est impossible d'assigner une fraction quelconque de seconde pour la durée de ce phénomène. Si

l'étoile occultée a paru quelquefois empiéter sur le disque lunaire, c'est là un fait de diffraction ou d'inflexion des rayons de lumière dont on ne saurait rien conclure, quant aux diamètres réels des étoiles. Nous avons eu, ailleurs, occasion de rappeler que Sir William Herschel trouvait un diamètre de 0″,36 à Véga de la Lyre, en employant un grossissement de 6500. Une autre fois, Arcturus étant vu à travers un brouillard épais, son disque se trouvait réduit à moins de 0″,2. Ce sont les rayons parasites qui faisaient attribuer des diamètres si considérables aux étoiles, avant l'invention des lunettes: Tycho et Képler assignaient, par exemple, à Sirius, un diamètre de 4′ et de 2′ 20″ (10). Les anneaux alternativement lumineux et obscurs qui entourent les faux disques stellaires, quand on emploie des grossissements de 200 à 300 fois, et qui deviennent irisés lorsqu'on recouvre l'objectif avec des diaphragmes de différentes formes, sont des phénomènes d'interférence et de diffraction : c'est un point désormais établi par les travaux d'Arago et d'Airy. Lorsque les étoiles sont extrêmement faibles, ces anneaux disparaissent; leurs images se réduisent à de simples points lumineux dont on peut se servir pour éprouver la perfection et la puissance optique des grandes lunettes ou des télescopes réflecteurs. Telles sont les composantes d'une étoile deux fois double, ε de la Lyre, ou la 5ᵉ et la 6ᵉ étoile qui furent découvertes par Struve, en 1826, et par Sir John Herschel, en 1832, dans le trapèze de la grande nébuleuse d'Orion, trapèze qui constitue l'étoile multiple θ d'Orion (11).

On a remarqué depuis longtemps que les étoiles et même les planètes présentent des différences de coloration assez tranchées; mais cet ordre de faits n'a pris toute son extension et son importance qu'à partir de l'époque où il a pu être étudié à l'aide des télescopes, surtout depuis qu'on a donné aux étoiles doubles une attention si vive et si soutenue. Il n'est pas question ici des changements de couleur déjà décrits plus haut, dont la scintillation est accompagnée, même dans les étoiles du blanc le plus pur. Il s'agit en-

core moins de la coloration passagère en rouge que la lumière stellaire éprouve à l'horizon, par suite des propriétés spéciales du milieu atmosphérique. Je veux seulement parler de la couleur propre, essentielle, de la lumière stellaire, couleur qui varie d'une étoile à l'autre, en vertu des lois particulières au développement de la lumière dans chaque corps, et suivant la nature de la surface dont elle émane. Les astronomes grecs ne connaissaient que des étoiles blanches et rouges : aujourd'hui la vision télescopique a permis de retrouver dans les espaces célestes, comme dans les corolles des phanérogames ou les oxydes métalliques, presque toutes les nuances que le spectre présente entre les limites extrêmes de la réfrangibilité, depuis les rayons rouges jusqu'aux rayons violets. Ptolémée cite, dans son catalogue, 6 étoiles couleur de feu, ὑπόκιρροι [12], à savoir : Arcturus, Aldébaran, Pollux, Antarès, α d'Orion (l'épaule droite), et Sirius. Cléomède compare même la couleur rouge d'Antarès à celle de Mars [13], auquel on donnait tantôt l'hépithète de πυρρός, tantôt celle de πυροειδής.

Des 6 étoiles que nous venons de citer, 5 ont encore aujourd'hui une lumière rouge ou du moins rougeâtre. On range encore Pollux au nombre des étoiles rougeâtres, mais Castor est vert-pâle [14]. Sirius offre donc l'unique exemple d'un changement de couleur constaté historiquement, car la lumière de Sirius est aujourd'hui d'une blancheur parfaite. Il n'y a qu'une grande révolution, soit à la surface, soit dans la photosphère de cette étoile, de ce soleil éloigné, suivant l'antique expression d'Aristarque de Samos, qui ait pu produire ce changement de couleur, en troublant l'action des causes auxquelles était due la prédominance des rayons rouges. Cette prédominance elle-même peut être attribuée à ce que les rayons complémentaires des rayons rouges étaient absorbés par la photosphère même de l'étoile, ou par des nuages cosmiques qui se transporteraient lentement d'un point à l'autre de l'espace [15]. Comme les rapides progrès de l'optique moderne donnent un vif intérêt à cette question, il serait à désirer que l'époque

de ce grand événement, signalé par la disparition de la couleur rouge de Sirius, pût être déterminée entre certaines limites. Du temps de Tycho, Sirius était déjà bien certainement de couleur blanche; car lorsqu'on vit avec surprise la nouvelle étoile qui apparut en 1572, dans la constellation de Cassiopée, avec une lumière d'une blancheur éblouissante, passer au rouge dans le mois de mars 1573, et redevenir blanche en janvier 1574, on la comparait bien, pendant la seconde période, avec Mars et Aldébaran, mais jamais avec Sirius. Peut-être Sédillot, ou d'autres savants philologues, versés dans l'astronomie des Arabes et des Perses, réussiraient-ils à découvrir quelque témoignage ancien sur la couleur de Sirius, s'ils voulaient diriger leurs recherches vers l'époque comprise entre El-Batani (Albategnius) ou El-Fergani (Alfraganus) et Abdurrahman Soufi ou Ebn-Jonnis, c'est-à-dire de 880 à 1007. Ils pourraient prolonger au besoin leurs investigations jusqu'au temps de Nassir-Eddin et d'Oulough Beg. Mohammed Ebn-Kethir El-Fergani, qui observait à Rakka (Aracte), sur les bords de l'Euphrate, vers le milieu du xe siècle, signale comme rouges (*stellæ rufæ*, dit la vieille traduction latine de 1590) Aldébaran et même la Chèvre dont la couleur est aujourd'hui jaune ou tout au plus jaune-rougeâtre ([16]); il ne parle point de Sirius. En tout cas, si Sirius avait déjà perdu sa couleur rouge avant cette époque, il serait bien singulier que El-Fergani, qui suit fidèlement Ptolémée en toutes choses, eût négligé d'indiquer le changement de couleur d'une étoile si célèbre. Les preuves négatives sont, à la vérité, rarement suffisantes; d'ailleurs Béteigeuze (α d'Orion), qui est rouge aujourd'hui comme du temps de Ptolémée, a été passée sous silence, dans le même endroit du livre d'El-Fergani.

On s'est toujours accordé à donner, au point de vue historique, le premier rang parmi les étoiles brillantes à Sirius, à cause du rôle capital qu'il a joué longtemps dans la chronologie, et de sa liaison intime avec les premiers développements de la civilisation sur les bords du Nil. D'a-

près les récentes recherches de Lepsius ([17]), la période sothiaque et les levers héliaques de Sothis (Sirius), sur lesquels Biot a publié une excellente dissertation, ont réglé complètement l'institution du calendrier égyptien, à partir d'une époque que l'on peut faire remonter à près de 33 siècles avant notre ère, « époque à laquelle le lever héliaque de Sirius coïncidait avec le solstice d'été, et où, par suite, le débordement du Nil commençait avec le premier du mois de Pachon (le mois de l'inondation). » J'ai réuni dans une note, des recherches très-récentes et encore inédites sur Sothis ou Sirius; elles reposent sur les relations étymologiques du copte, du zend, du sanscrit et du grec; mais elles s'adressent uniquement aux personnes qui aiment les origines de l'astronomie, et qui, dans les affinités des langues, retrouvent de précieux vestiges des connaissances de l'antiquité ([18]).

Outre Sirius, on compte aujourd'hui comme étoiles blanches Véga, Déneb, Régulus et l'Epi de la Vierge. Parmi les petites étoiles doubles, Struve a trouvé 300 couples dont les deux composantes sont blanches ([19]). La couleur jaune ou jaunâtre se remarque dans Procyon, Ataïr, la Polaire et surtout dans β de la petite Ourse. Nous avons déjà dit que Béteigeuse, Arcturus, Aldébaran, Antarès et Pollux sont rouges ou rougeâtres. Rümker a trouvé γ de la Croix d'une couleur rouge décidée; et mon ami le capitaine Bérard, excellent observateur, écrivait en 1847, de Madagascar, qu'il voyait la couleur de α de la Croix passer aussi au rouge depuis plusieurs années. Une étoile du Navire, η d'Argo, que les observations de Sir John Herschel ont rendue célèbre, varie non-seulement d'éclat, mais encore de couleur; il en sera parlé plus loin d'une manière plus détaillée. En 1843, M. Mackay trouvait, à Calcutta, que cette étoile avait précisément la couleur d'Arcturus, c'est-à-dire qu'elle était d'un jaune rougeâtre ([20]). Depuis, des lettres du lieutenant Gilliss, écrites de Santiago (Chili) en 1850, nous apprennent que sa couleur est devenue encore plus foncée que celle de Mars. A la suite du

Voyage au Cap, Sir John Herschel a donné un petit catalogue de 76 étoiles comprises entre la 7e et la 9e grandeur; toutes ces étoiles sont d'un rouge de rubis (ruby coloured). Quelques-unes paraissent vermeilles comme de petites gouttes de sang. Au delà de la 9e ou 10e grandeur, il devient réellement impossible, dit Struve, de distinguer les couleurs des étoiles. La plupart des descriptions d'étoiles variables leur assignent une couleur rouge ou du moins rougeâtre (21). Mira de la Baleine, la première étoile changeante que l'on ait découverte (22), est d'une teinte rougeâtre très-prononcée. Mais la coloration en rouge n'est point nécessairement liée au phénomène de la variabilité d'éclat; car, sans parler d'un grand nombre d'étoiles rouges qui ne sont pas variables, on peut citer plusieurs étoiles variables qui sont entièrement blanches; par exemple: Algol, dans la tête de Méduse, β de la Lyre, ϵ du Cocher... Quant aux étoiles bleues, dont l'existence a été signalée, pour la première fois, par Mariotte dans son *Traité des Couleurs* (23), on peut en citer plusieurs types remarquables: α de la Lyre est bleuâtre; Dunlop a découvert, dans l'hémisphère austral, un petit amas de 3′ 1/2 de diamètre, dont toutes les étoiles sont bleues. Il y a beaucoup de systèmes binaires où l'étoile principale est blanche et le compagnon bleu; dans d'autres, les deux étoiles sont bleues à la fois (24), comme par exemple, δ du Serpent, la 59e d'Andromède... Lacaille avait trouvé, près de $\varkappa$ de la Croix du Sud, un amas d'étoiles auquel ses faibles instruments donnaient l'aspect d'une nébuleuse. Avec de puissants télescopes, on y a trouvé plus de cent étoiles diversement colorées, rouges, vertes, bleues, bleu verdâtre. Ces étoiles sont si rapprochées, qu'on dirait un écrin de pierres précieuses polychromes (like a superb piece of fancy jewellery) (25).

Les anciens ont cru reconnaître une symétrie remarquable dans les positions relatives de certaines étoiles de 1re grandeur. Ils avaient distingué surtout quatre étoiles diamétralement opposées dans la sphère, Aldébaran et An-

letarès, Régulus et Fomalhaut, auxquelles on avait donné nom d'*étoiles royales*. Un écrivain de l'époque de Constantin, Julius Firmicus Maternus ([26]), fournit des détails curieux sur cette disposition régulière dont j'ai parlé ailleurs ([27]). Les différences d'ascension droite des étoiles royales (*stellæ regales*), sont $11^h\ 57^m$ et $12^h\ 49^m$. L'importance qu'on leur attribuait venait sans aucun doute des traditions de l'Orient qui pénétrèrent, sous les Césars, dans le monde romain, où elles inspirèrent un goût si vif pour l'astrologie. On retrouve, jusque dans le livre de Job, des traces de cette habitude antique de désigner les quatre régions du ciel par quatre constellations opposées: un passage obscur du 9e chapitre (verset 9) oppose, « aux chambres de l'Orient, » la *Cuisse*, c'est-à-dire la constellation boréale de la Grande Ourse, cette même *Cuisse de taureau* que l'on a tant remarquée dans le zodiaque de Dendera et dans les papyrus mortuaires des Égyptiens ([28]).

Un siècle avant l'invention du télescope, on commençait à s'occuper du ciel austral, dont une grande et belle partie, commençant au 53e degré de déclinaison, était restée comme voilée pour l'antiquité et même jusque vers la fin du moyen âge. Du temps de Ptolémée, on voyait sur l'horizon d'Alexandrie: l'Autel; les Pieds du centaure; la Croix du Sud, comprise alors dans le Centaure et nommée aussi plus tard, *Cæsaris Thronus*, en l'honneur d'Auguste, ainsi que le témoigne Pline ([29]); enfin Canopus, dans le Navire, que le Scoliaste de Germanicus appelle *Ptolemæon* ([30]). On trouve encore, dans le catalogue de l'Almageste, une étoile de 1re grandeur, Achernar (en arabe, *Achir el-nahr*), la dernière du fleuve Éridan, bien que cette étoile soit située 9° au-dessous de l'horizon d'Alexandrie. Ptolémée doit donc la connaissance de cette étoile aux relations des navigateurs qui fréquentaient la partie australe de la mer Rouge, ou la mer d'Arabie, entre Ocelis et Muziris, une des échelles du Malabar ([31]). Les progrès croissants de l'art nautique permirent aux modernes de pousser leurs recherches

bien au delà de l'équateur, en suivant les côtes occidentales de l'Afrique. En 1484, Diégo Cam accompagné de Martin Behaim ; en 1487, Barthélemy Diaz ; en 1497, Vasco de Gama atteignirent le parallèle de 35° de latitude sud, dans leurs expéditions vers les Indes orientales. Mais c'est à l'époque de Vincent Yanez Pinzon, d'Amerigo Vespucci et d'Andrea Corsali, entre 1500 et 1515, que revient l'honneur des premières études qui aient été faites sur le ciel austral, les Nuées de Magellan, les Sacs de Charbon ; c'est alors que l'Europe put connaître « les merveilles d'un ciel qu'on ne voit pas sur la Méditerranée. » Les mesures stellaires proprement dites commencèrent beaucoup plus tard, vers la fin du XVIe siècle et le commencement du XVIIe (32).

S'il est possible, aujourd'hui, de reconnaître certaines lois dans la distribution des étoiles et dans leurs divers degrés de condensation, c'est à une heureuse inspiration de Sir William Herschel que nous en sommes redevables. En 1785, Herschel appliqua, à l'étude du ciel, sa méthode des jauges (en anglais, process of gauging the heavens, star-gauges) dont il a été plus d'une fois question dans cet ouvrage. Cette laborieuse méthode consistait à diriger successivement vers différentes régions du ciel un télescope de 20 pieds (6 mètres), et à compter minutieusement les étoiles qui se trouvent comprises dans le champ. Le diamètre du champ de vision sous-tendant un angle de 15', le télescope embrassait chaque fois 1/833000 seulement de la surface du ciel ; aussi ces jauges auraient-elles exigé 83 ans de travaux continus, d'après une remarque de Struve, s'il avait fallu les étendre à la sphère entière (33). Dans les recherches de ce genre où il s'agit d'étudier le mode de distribution des étoiles, il est nécessaire de tenir compte des ordres de grandeur photométrique auxquels ces étoiles appartiennent. Si on se borne aux étoiles brillantes des 3 ou 4 premiers ordres, on trouve, en général, qu'elles sont réparties avec assez d'uniformité (34). Elles paraissent toutefois plus condensées localement dans l'hé-

misphère austral, depuis ε d'Orion jusqu'à α de la Croix. Là elles forment une zone resplendissante, qui suit la direction d'un grand cercle de la sphère. Les voyageurs s'accordent peu dans les jugements qu'ils portent sur la beauté relative du ciel austral et du ciel boréal; leurs divergences tiennent le plus souvent, selon moi, à ce que plusieurs observateurs ont visité les régions du sud pendant une saison où les plus belles constellations culminent de jour. Il résulte des jauges exécutées par les deux Herschel, sur la voûte entière du ciel, que les étoiles comprises entre la 5e et la 10e ou même la 15e grandeur, étoiles pour la plupart télescopiques, paraissent d'autant plus condensées que l'on se rapproche davantage de la Voie lactée (ὁ γαλαξίας κύκλος). Il y aurait donc sur la sphère un équateur de richesse stellaire, et des pôles de pauvreté stellaire, si l'on peut s'exprimer ainsi. Le premier coïncidant avec la direction générale de la Voie lactée, l'intensité de la lumière stellaire est à son minimum vers les pôles du *cercle galactique;* elle croit rapidement à partir de ces pôles, et dans tous les sens, à mesure que la distance polaire galactique va elle-même en augmentant.

Struve a soumis à une discussion approfondie les matériaux fournis par les jauges actuellement connues. Il trouve, pour résultat définitif de son travail, qu'il y a, en moyenne, dans la Voie lactée, 30 fois plus d'étoiles (plus exactement 29, 4 fois) que dans les régions des pôles galactiques. Pour des distances au pôle nord de la Voie lactée, exprimées par 0°, 30°, 60°, 75° et 90°, la richesse en étoiles est représentée par 4,15; 6,52; 17,68; 30,30; 122,00. Ces nombres indiquent aussi combien d'étoiles un télescope de 20 pieds, dont le champ aurait 15′ de diamètre, ferait voir dans ces diverses régions. Des deux côtés de la Voie lactée, la distribution des étoiles paraît suivre à peu près les mêmes lois; cependant la richesse stellaire absolue est un peu plus grande du côté du sud ([35]); sous ce rapport, le ciel austral l'emporte encore sur la région opposée.

J'avais prié le capitaine du génie Schwinck d'examiner comment les 12148 étoiles (de la 1re à la 7e grandeur) dont il a retracé les positions sur sa *Mappa cœlestis*, se distribuent entre les différentes heures d'ascension droite; voici les résultats qui m'ont été communiqués :

De $3^h 20^m$ à $9^h 20^m$	d'Asc. dr.,	nombre	des étoiles	3147
$9^h 20^m$ à $15^h 20^m$	—	—	—	2627
$15^h 20^m$ à $21^h 20^m$	—	—	—	3523
$21^h 20^m$ à $3^h 20^m$	—	—	—	2851

Ces quatre groupes s'accordent avec les résultats encore plus exacts des *Études Stellaires* de Struve. D'après Struve, les maxima tombent, pour les étoiles de la 1re et la 9e grandeur, par $6^h 40^m$ et $18^h 40^m$; les minima, par $1^h 30^m$ et $13^h 30^m$ d'ascension droite ([36]).

Si l'on veut se faire une idée de la structure de l'univers et de la position ou de l'épaisseur des couches stellaires, il est essentiel de distinguer, parmi les astres innombrables qui brillent au firmament, les étoiles qui sont sporadiquement disséminées, de celles qui forment des groupes indépendants où leur condensation suit des lois particulières. Ces groupes sont des *amas stellaires;* ils contiennent souvent des milliers d'étoiles télescopiques, reliées entre elles par une dépendance évidente, et ils apparaissent à l'œil nu sous forme de nébuleuses arrondies, d'une lueur et d'un aspect cométaire. Ce sont là les étoiles nébuleuses d'Ératosthène ([37]) et de Ptolémée, les *nebulosæ* des Tables Alphonsines de 1252, et celles qui, suivant Galilée, « sicut areolæ sparsim per æthera subfulgent. »

Ces amas d'étoiles, à leur tour, peuvent être isolés dans le ciel, ou rassemblés et comme entassés dans certaines régions, telles que la Voie lactée ou les Nuées de Magellan. La région la plus riche en amas globulaires (*globular clusters*), appartient à la Voie lactée; elle en forme même la partie la plus importante. Elle se trouve dans le ciel austral ([38]), entre la Couronne australe, le Sagittaire, la queue du Scorpion, et l'Autel, c'est-à-dire entre $16^h 45^m$ et

19h d'ascension droite. Mais les amas qui se trouvent à l'intérieur ou dans le voisinage de la Voie lactée ne sont pas tous ronds ou sphériques. On en trouve beaucoup dont les contours sont irréguliers ; ils renferment alors moins d'étoiles, et leur condensation centrale est moins marquée. Dans un grand nombre d'amas globulaires, les étoiles sont toutes d'égale grandeur ; dans d'autres, elles sont fort inégales. Quelquefois il y a, au centre, une belle étoile rouge ([39]), comme dans l'amas situé par 2h 10m d'ascension droite, et 56° 21′ de déclinaison boréale. Comment ces systèmes isolés peuvent-ils se maintenir? comment les soleils, qui fourmillent à l'intérieur de ces mondes peuvent-ils accomplir leurs révolutions librement et sans chocs? c'est assurément un des plus difficiles problèmes que la dynamique puisse aborder. Les nébuleuses ne se distinguent plus guère des amas stellaires, puisqu'on les regarde maintenant comme étant formées, elles aussi, d'étoiles, mais d'étoiles plus petites ou beaucoup plus éloignées de nous. Cependant les nébuleuses paraissent suivre, dans leur distribution, des lois particulières. La connaissance de ces lois aura surtout pour effet de modifier profondément nos idées sur ce que l'on nomme, avec tant de hardiesse, la structure de l'univers. Citons seulement ici un fait bien remarquable ; à parité de grossissement et d'ouverture du télescope, les nébuleuses *rondes* sont plus facilement résolubles en étoiles que les nébuleuses *ovales* ([40]).

Nous signalerons maintenant quelques-uns de ces amas stellaires qui forment des systèmes isolés, véritables îles dans l'océan des mondes.

Les Pléiades: Connues dès la plus haute antiquité et des peuples les plus grossiers. C'était la constellation des navigateurs : Pleias, ἀπὸ τοῦ πλεῖν, comme dit l'ancien scoliaste d'Aratus. Cette étymologie est bien plus juste que celle des écrivains plus modernes, qui la déduisent de πλέος, pluralité. Dans la Méditerranée, la navigation durait depuis mai jusqu'au commencement de novembre, c'est-à-dire depuis le lever héliaque jusqu'au coucher héliaque des Pléiades.

La Crèche, dans l'Écrevisse; Nubecula quam Præsepia vocant inter Asellos, comme disait Pline; un νεφέλιον d'Ératosthène.

L'amas qui se trouve dans la poignée de l'épée de Persée; les astronomes grecs en ont souvent fait mention.

La Chevelure de Bérénice: visible à la simple vue, ainsi que les trois amas précédents.

Un amas situé près d'Arcturus (N° 1663), par 13h 34m 12s d'asc. dr. et 29° 14′ de décl., il contient plus d'un millier de petites étoiles de 10e à 12e grandeur.

Amas placé entre η et ζ d'Hercule; visible à l'œil nu pendant les belles nuits: un magnifique objet, vu à l'aide d'un télescope puissant (N° 1968); il est frangé sur les bords, de prolongement, assez singuliers. AR. 16h 35m 37s décl. + 36° 47′: décrit pour la première fois en 1714, par Halley.

Amas situé près de ω du Centaure: décrit par Halley dès 1677; paraissant à l'œil nu comme une tache ronde d'aspect cométaire; presque aussi brillant qu'une étoile de 4e à 5e grandeur. A l'aide de télescopes puissants, on le décompose en petites étoiles de 13e à 15e grandeur, assez fortement condensées vers le centre: AR. 13h 16m 38s décl. — 46° 35′; c'est le n° 3504 du catalogue des nébuleuses du ciel austral de Sir John Herschel; il a 15′ de diamètre (*Voyage au Cap*, p. 21 et 105; *Outlines of Astr.*, p. 595).

Amas voisin de κ de la Croix du Sud (N. 3435): Composé d'étoiles multicolores de 12e à 16e grandeur. Ces étoiles sont distribuées sur une aire de 1/48 de degré carré. C'est une nébuleuse de Lacaille: elle a été si complètement résolue par Sir John Herschel, qu'il ne restait plus de traces de nébulosité. L'étoile centrale est absolument rouge (*Voyage au Cap*, p. 17 et 102, pl. I, fig. 2).

L'amas 47 du Toucan, de Bode; N° 2322 du catalogue de Sir John Herschel: un des plus merveilleux objets du ciel austral. Lorsque je vins au Pérou, pour la première fois, et que je vis cet amas plus élevé au-dessus de l'horizon, je le pris d'abord pour une comète. Il a 15 ou 20′ de diamètre, et quoiqu'il soit situé près de la petite Nuée de Magellan, sa visibilité à l'œil nu est singulièrement favorisée par sa situation dans un espace entièrement vide d'étoiles. Il est intérieurement coloré en rose pâle, entouré d'une bordure blanche concentrique, et formé d'étoiles égales de 14e à 16e grandeur. Il présente d'ailleurs tous les signes caractérisques de la forme globulaire ou sphérique (41).

La Nebuleuse d'Andromède, près de ν de cette constellation. La résolution en étoiles de cette célèbre nébuleuse est une des plus remarquables découvertes qu'on ait faites, à notre époque, dans l'astronomie sidérale. Cette découverte est due à Georges Bond ([42]), adjoint de l'observatoire de Cambridge, aux États-Unis, et fut faite en mars 1848; elle montre toute la puissance optique de la lunette de cet établissement (son objectif est de 38 centimètres de diamètre): car un excellent téléscope, dont le miroir n'avait pas moins de 49 centimètres de diamètre, « ne laissait pas même soupçonner la présence d'une seule étoile dans cette nébuleuse » ([43]). Or la lunette de Cambridge en fait distinguer plus de 1500. Peut-être l'amas stellaire d'Andromède a-t-il été connu, dès la fin du xe siècle, comme une nébuleuse de forme ovale; il est certain du moins que Simon Marius ou Mayer, de Guntzenhausen, auquel on doit la remarque des changements de couleur qui accompagnent la scintillation ([44]), a signalé cet amas le 15 décembre 1612, comme un nouvel astre singulier, dépourvu d'étoiles et inconnu à Tycho; c'est lui aussi qui en a donné la première description détaillée. Cinquante ans plus tard, Bouillaud, l'auteur de l'*Astronomia Philolaica*, s'est occupé du même sujet. Ce qui donne à cet amas, dont la longueur est de 2° 1/2 et la largeur de plus de 1°, un caractère tout particulier, ce sont deux bandes noires très-étroites qui traversent, comme des fissures, la figure entière, parallèlement à son grand axe. Cette configuration, observée par Bond, rappelle la singulière fissure longitudinale qui traverse également une nébuleuse non résolue de l'hémisphère austral, le N° 3501, dont Herschel a donné la description et le dessin, dans son *Voyage au Cap*, p. 20 et 105, pl. IV, fig. 2.

J'omets à dessein la grande nébuleuse d'Orion dans ce choix d'amas stellaires remarquables, malgré les découvertes importantes que Lord Rosse, aidé de son télescope gigantesque, a faites sur cette nébuleuse. Il m'a paru plus convenable de renvoyer au chapitre des nébuleuses la description des parties actuellement *résolues* dans la constellation d'Orion.

La plus grande accumulation d'amas d'étoiles, mais non de nébuleuses, se trouve dans la Voie lactée ([45]), (*Galaxias*, le Fleuve céleste des Arabes) ([46]), qui forme pres-

que un grand cercle de la sphère incliné à l'équateur sous un angle de 63°. Le pôle nord de la Voie lactée se trouve par 12h 47m d'asc. dr. et 27° de décl. boréale, et son pôle sud par 0h 47m d'asc. droite et 27° de décl. australe. On voit que le pôle boréal de la Voie lactée est située près de la Chevelure de Bérénice, et que son pôle austral tombe entre le Phénix et la Baleine. S'il est naturel de rapporter les lieux des planètes à l'écliptique, c'est-à-dire au grand cercle de la sphère que le Soleil décrit dans sa course annuelle, il ne l'est pas moins de rapporter l'ensemble des configurations stellaires au grand cercle de la Voie lactée, surtout quand il s'agit de rechercher le mode suivant lequel les étoiles se groupent et s'accumulent dans les diverses régions de la voûte céleste. En ce sens, la Voie lactée a le même rôle, dans l'univers sidéral, que l'écliptique dans notre monde planétaire. Elle coupe l'équateur en deux points : le premier est situé entre Procyon et Sirius, par 6h 54m d'asc. dr.; le second point se trouve vers la main gauche d'Antinoüs, par 19h 15m d'asc. dr. (en 1800). La Voie lactée divise donc la sphère céleste en deux parties un peu inégales, dont les surfaces sont dans le rapport de 8 à 9. C'est dans la plus petite que se trouve le point équinoxial du printemps. La largeur de la Voie lactée est très-variable ([47]). La partie la plus étroite et aussi la plus brillante a seulement 3° ou 4° de large; elle se trouve entre la proue du Navire et la Croix. Ailleurs, sa largeur va à 16° et même à 22°, par exemple entre le Serpentaire et Antinoüs; il est vrai que cette partie est divisée en deux branches ([48]). W. Herschel a remarqué qu'en plusieurs endroits la Voie lactée est plus large de 6° ou 7°, d'après ses jauges, qu'elle ne le paraît à l'œil nu, quand on en juge seulement par l'effet de sa lueur stellaire ([49]).

La blancheur lactescente de cette zone a été attribuée longtemps à la présence d'une nébulosité générale non résoluble. Huyghens avait été conduit à cette idée dès 1656, en étudiant la Voie lactée avec une lunette de 7m,5. Mais on est parvenu plus tard, en employant toute la puissance

optique des plus grands télescopes, à démontrer que cette lueur générale ne devait pas être attribuée à la présence de quelques rares nébuleuses, mais bien à des strates d'étoiles accumulées dans la même région. C'est la justification des idées que Démocrite et Manilius s'étaient formées autrefois sur « la Voie suivie par Phaéton. » Là où la Voie lactée a été décomposée en étoiles, on a vu ces étoiles « se projeter sur un fond noir entièrement dégagé de toute nébulosité : » or, la lueur générale de la Voie lactée est partout la même ([50]).

C'est un caractère général et très-remarquable de la Voie lactée que les amas globulaires et les nébuleuses ovales de forme régulière s'y trouvent si clairsemées ([51]), tandis qu'on les rencontre en si grand nombre à de grandes distances de la Voie lactée, et même dans les Nuées de Magellan. Dans ces Nuées, les étoiles isolées, les amas globulaires à tous les états possibles de condensation intérieure, et les taches nébuleuses ovales ou irrégulières sont abondamment mêlées les unes aux autres. Toutefois une partie de la Voie lactée fait exception sous ce rapport ; on trouve des amas nombreux de forme sphérique dans la région comprise entre $16^h\ 45^m$ et $18^h\ 44^m$ d'asc. dr., c'est-à-dire entre l'Autel, la Couronne australe, la tête et le corps du Sagittaire, et la queue du Scorpion. On voit même, entre ε et θ du Scorpion, une de ces nébuleuses annulaires, si rares dans le ciel austral ([52]). Dans le champ de vision des grands télescopes (et il faut se rappeler ici que les télescopes d'Herschel de 20 pieds et de 40 pieds pénétraient dans l'espace jusqu'à 900 et 2800 fois la distance de Sirius à la Terre), la Voie lactée se montrait aussi variée, quant à sa *constitution sidérale*, qu'elle est peu régulière à l'œil nu, dans ses limites toujours mal accusées. Si quelques régions présentent de grands espaces où la lumière est uniformément répartie, il vient immédiatement après d'autres régions où des espaces brillants du plus vif éclat alternent avec des espaces pauvres en étoiles, et dessinent sur le ciel des réseaux irrégulièrement lumineux ([53]). On

trouve même, jusque dans l'intérieur de la Voie lactée, des espaces obscurs où il est impossible de découvrir une seule étoile, fut-elle de 18e ou de 20e grandeur. A l'aspect de ces régions absolument vides, on ne saurait se défendre de l'idée que le rayon visuel a pénétré réellement dans l'espace, en traversant l'épaisseur entière de la couche stellaire qui nous environne. Les mêmes irrégularités se manifestent dans les jauges; quand celles-ci présentent une moyenne de 40 à 50 étoiles pour l'étendue d'un champ de vision de 15' en diamètre, les jauges suivantes en comprennent souvent dix fois plus. Quelquefois, des étoiles d'un éclat supérieur brillent au milieu de la plus fine poussière stellaire, et les ordres de grandeur intermédiaires manquent totalement. Il faut pourtant remarquer ici que les étoiles dites d'ordre inférieur ne sont pas nécessairement les plus éloignées; il est possible qu'elles soient d'un volume plus faible, ou que la lumière s'y développe avec une moindre intensité.

Pour bien saisir le contraste que présentent les diverses parties de la Voie lactée, quant à l'éclat et à l'accumulation des étoiles, il faut comparer des régions très-éloignées l'une de l'autre. Le maximum de richesse et d'éclat stellaire se trouve entre la proue du Navire et le Sagittaire, ou, pour parler plus exactement, entre l'Autel, la queue du Scorpion, la main et l'arc du Sagittaire, et le pied droit du Serpentaire. Aucune région du ciel ne présente autant d'éclat et de variété par la richesse et le nombre des objets s'y trouvent réunis » ([54]). La région de notre ciel boréal qui s'en rapproche le plus est située dans l'Aigle et dans le Cygne, vers le point de partage de la Voie lactée. Le minimum d'éclat se trouve dans les environs de la Licorne et de Persée, et le minimum de largeur sous le pied de la Croix.

Une circonstance digne de remarque augmente encore la magnificence de la Voie lactée, dans l'hémisphère austral: c'est qu'elle est coupée sous un angle d'environ 20°, entre les parallèles de 59° et de 60°, par la zone stellaire où se

trouvent les étoiles les plus brillantes et sans doute aussi les plus voisines de nous, zone à laquelle appartiennent Orion, le Grand-Chien, le Scorpion, le Centaure et la Croix. Un arc de grand cercle, passant par ε d'Orion et le pied de la Croix, dessine assez bien la direction de cette zone remarquable, dont l'intersection avec la Voie lactée tombe entre α de la Croix et η d'Argo, devenue si célèbre par sa variabilité. L'effet vraiment pittoresque de la Voie lactée est encore augmenté par les diverses ramifications qu'elle présente sur les 3/5 de son trajet. La bifurcation principale a lieu près de α du Centaure, suivant Sir John Herschel (55), et non près de β du Centaure, comme l'indiquent nos cartes célestes, ni près de l'Autel, comme le veut Ptolémée (56). Les deux grandes branches se réunissent dans la constellation du Cygne.

Pour embrasser dans son ensemble le cours entier de la Voie lactée et de ses ramifications, nous ferons ici une revue rapide de ses diverses parties, en suivant l'ordre des ascensions droites. Elle passe par γ et ε de Cassiopée, envoie au sud, vers ε de Persée, un rameau qui se perd près des Pléiades et des Hyades; elle traverse, faible encore et peu brillante, les Chevreaux (Hædi) dans la main du Cocher, les pieds des Gémeaux, les cornes du Taureau, coupe l'écliptique au point solsticial d'été, couvre la massue d'Orion et traverse l'équateur vers le col de la Licorne par $6^h\ 54^m$ d'ascension droite (en 1800). A partir de ce point son éclat augmente notablement. A l'arrière du Navire, elle émet un rameau vers le sud jusqu'à γ d'Argo, où ce rameau disparaît brusquement. La branche principale continue jusqu'à 33° de déclinaison australe; là elle s'étend en éventail sur 20° de large, puis elle s'interrompt encore et laisse un large espace vide, suivant la ligne qui joint γ et λ d'Argo. Elle reprend ensuite, avec la même largeur; mais elle va en se rétrécissant vers les pieds de derrière du Centaure. Dans la Croix du Sud, où elle atteint son minimum de largeur, elle n'a plus que 3° ou 4°. Un peu plus loin, elle s'étend de nouveau, et se transforme en une masse

plus brillante où β du Centaure, α et β de la Croix se trouvent compris, ainsi que l'espace obscur en forme de poire, qu'on nomme *Sac de Charbon* et dont j'aurai à parler bientôt dans le VII[e] chapitre. C'est vers cette région remarquable, un peu au-dessous du Sac de Charbon, que la Voie lactée se rapproche le plus du pôle austral.

Elle se divise près de α du Centaure, comme je l'ai dit plus haut, et sa bifurcation se maintient, suivant les anciennes descriptions, jusque dans la constellation du Cygne. D'abord, en partant de α du Centaure, on voit un rameau étroit se diriger au nord et se perdre vers le Loup. Puis une division se montre dans le Compas, près de γ de la Règle. Le rameau septentrional présente des formes irrégulières jusque vers les pieds du Serpentaire; là il s'évanouit tout à fait. Le rameau méridional devient alors la branche principale, traverse l'Autel et la queue du Scorpion, en se dirigeant vers l'arc du Sagittaire et coupe l'écliptique par 276° de longitude. On le reconnaît plus loin courant à travers l'Aigle, la Flèche et le Renard jusqu'au Cygne, mais sous une forme accidentée, interrompue çà et là. En cet endroit commence une région extrêmement irrégulière; on y voit entre ε, α et γ du Cygne, une large place obscure que Sir John Herschel compare au Sac de charbon de la Croix du Sud ([57]), et qui forme une espèce de centre d'où divergent trois courants partiels. Le plus brillant est facile à suivre, si on remonte par de là β du Cygne et s de l'Aigle; mais il ne se réunit point avec le rameau mentionné plus haut, lequel s'étend jusqu'au pied d'Ophiucus. Une partie plus considérable de la Voie lactée s'étend en outre à partir de la tête de Céphée, c'est-à-dire près de Cassiopée, point de départ de toute cette description, et se dirige vers la Petite Ourse ou le pôle nord.

Les progrès extraordinaires dont l'étude de la Voie lactée est redevable à l'emploi des grands télescopes, ont fait succéder, à l'étude purement descriptive ou optique de cette partie du ciel, des aperçus plus ou moins heureux sur sa constitution physique. Thomas Wright ([58]), Kant,

Lambert et William Herschel lui-même ne voyaient dans cette immense accumulation d'étoiles que la simple perspective d'une strate stellaire aplatie et plus ou moins régulière, au sein de laquelle notre système solaire serait placé. Quant à l'hypothèse opposée, celle de l'égale grandeur des étoiles et de leur uniforme distribution dans l'espace, tout concourt aujourd'hui à l'ébranler. Cependant William Herschel a fini, dans ses derniers travaux, par modifier lui-même sa première idée: au lieu d'une immense couche d'étoiles, cet habile et hardi scrutateur des cieux a préféré admettre enfin l'hypothèse d'un vaste anneau stellaire, qu'il avait pourtant combattue dans son beau Mémoire de 1784 ([59]). Les dernières observations paraissent décider en faveur d'un système d'anneaux concentriques, d'épaisseurs très-inégales, et dont les diverses couches, plus ou moins lumineuses pour nous, seraient placées à des profondeurs diverses dans l'espace. Mais l'éclat relatif de ces petites étoiles, comprises entre la 10ᵉ et la 16ᵉ grandeur, ne saurait ici nous donner la mesure de leur distance; il est impossible d'en rien conclure de satisfaisant, quant à l'évaluation numérique du rayon des sphères auxquelles ces étoiles appartiennent ([60]).

Dans beaucoup de régions de la Voie lactée, la puissance de pénétration de nos instruments optiques suffit pour résoudre les nuées stellaires dans toute leur étendue, et faire voir les points lumineux sur le fond vide et noir des espaces sans fin. On peut dire alors que la vue pénètre librement dans l'espace. « It leads us, » dit Sir John Herschel, « irresistibly to the conclusion, that in these regions we see *fairly through* the starry stratum ([61]). » Dans certaines régions, la Voie lactée livre elle-même un passage par ses hiatus ou ses fissures. Ailleurs elle est restée impénétrable (fathomless, insondable), même pour le célèbre télescope de 40 pieds ([62]).

La théorie actuelle du système des anneaux galactiques et la détermination de ce que l'on appelle hardiment « le lieu du Soleil dans ce système, » sont dues, en grande partie,

aux récents travaux de Sir John Herschel dans l'hémisphère austral. Pour obtenir ces résultats dont on ne peut contester la vraisemblance et surtout l'intérêt, John Herschel a étudié la distribution de la lumière stellaire dans les diverses régions de la Voie lactée, et les ordres de grandeur des étoiles qui s'accumulent de plus en plus à partir des pôles galactiques, accumulation qui a été constatée, dans un espace de 30°, de chaque côté de la Voie lactée, pour les étoiles inférieures à la 11e grandeur (63), par conséquent pour les 16/17 de la totalité des étoiles. Le lieu que l'on est ainsi conduit à assigner au Soleil est excentrique: on le place sur la ligne d'intersection de l'une des couches secondaires avec le plan de l'anneau principal (64), dans une des régions les plus vides, plus près de la Croix du Sud que la région où se trouve le nœud opposé de la Voie lactée (65). « La profondeur à laquelle notre système solaire est placé, dans la couche d'étoiles qui forme la Voie lactée, doit donc être égale à la distance des étoiles de 9e à 10e grandeur, et non point à celle des étoiles de 11e grandeur; cette profondeur étant d'ailleurs comptée à partir de la surface méridionale de la strate stellaire (66). » Mais là où les mesures directes deviennent impossibles, par la nature même du problème, l'esprit humain, tout en pressentant la vérité, ne parvient cependant qu'à saisir une lueur incertaine.

IV.

ÉTOILES NOUVELLES. — ÉTOILES CHANGEANTES A PÉRIODES CONSTATÉES. — ASTRES DONT L'ÉCLAT SUBIT DES VARIATIONS, MAIS DONT LA PÉRIODICITÉ N'A POINT ENCORE ÉTÉ RECONNUE.

Étoiles nouvelles. — L'apparition d'une étoile nouvelle a toujours excité l'étonnement, surtout quand le phénomène a été subit, quand l'étoile était de première grandeur et fortement scintillante. C'est là, en effet, ce que l'on pourrait nommer à bon droit un événement dans l'univers. Ce qui était resté, jusque-là, caché à nos regards, devient visible et révèle tout à coup son existence. La surprise, d'ailleurs, est d'autant plus vive, que de pareils événements se présentent plus rarement dans la nature. Du XVIe au XIXe siècle, les habitants de l'hémisphère boréal ont aperçu, à l'œil nu, 42 comètes, soit 14 comètes en moyenne par siècle; tandis qu'ils n'ont été témoins que de 8 apparitions d'étoiles nouvelles, dans le même laps de temps. Leur rareté devient bien plus frappante, si on embrasse des périodes plus longues. Depuis l'époque, importante dans l'histoire de l'astronomie, ou les Tables Alphonsines furent achevées, jusqu'à celle de William Herschel, de 1252 à 1800, on a compté environ 63 comètes non télescopiques, et seulement 9 étoiles nouvelles. Dans cette période donc, où la civilisation européenne permet de compter sur une attention scien-

tifique suffisamment soutenue, le rapport des étoiles nouvelles aux comètes visibles est celui de 1 à 7. Nous ferons voir bientôt que, si on distingue avec soin, dans le catalogue chinois de Ma-tuan-lin, les étoiles nouvelles des comètes dépourvues de queues, et si l'on remonte, à l'aide de cette précieuse collection, jusqu'à l'année 150 avant notre ère, on trouve encore à peine, en 2000 ans, 20 à 22 apparitions d'étoiles dont on puisse garantir la réalité.

Avant de passer aux considérations générales, il nous paraît bon de nous arrêter, un moment, à un cas particulier, et d'étudier, dans les écrits d'un témoin oculaire, la vive impression que peut causer l'aspect inattendu d'un phénomène de ce genre, « Lorsque je quittai l'Allemagne pour retourner dans les îles danoises, dit Tycho Brahé, je m'arrêtai (ut aulicæ vitæ fastidium lenirem) dans l'ancien cloître admirablement situé d'Herritzwaldt, appartenant à mon oncle Sténon Bille, et j'y pris l'habitude de rester dans mon laboratoire de chimie jusqu'à la nuit tombante. Un soir que je considérais, comme à l'ordinaire, la voûte céleste dont l'aspect m'est si familier, je vis avec un étonnement indicible, près du zénith, dans Cassiopée, une étoile radieuse d'une grandeur extraordinaire. Frappé de surprise, je ne savais si j'en devais croire mes yeux. Pour me convaincre qu'il n'y avait point d'illusion, et pour recueillir le témoignage d'autres personnes, je fis sortir les ouvriers occupés dans mon laboratoire, et je leur demandai, ainsi qu'à tous les passants, s'ils voyaient, comme moi, l'étoile qui venait d'apparaître tout à coup. J'appris plus tard qu'en Allemagne des voituriers et d'autres gens du peuple avaient prévenu les astronomes d'une grande apparition dans le cie, ce qui a fourni l'occasion de renouveler les railleries accoutumées contre les hommes de science (comme pour les comètes dont la venue n'avait point été prédite).

« L'étoile nouvelle », continue Tycho, « était dépourvue de queue; aucune nébulosité ne l'entourait; elle ressemblait de tout point aux autres étoiles: seulement elle scintillait encore plus que les étoiles de première grandeur. Son

éclat surpassait celui de Sirius, de la Lyre et de Jupiter. On ne pouvait le comparer qu'à celui de Vénus, quand elle est le plus près possible de la Terre (alors un quart seulement de sa surface est éclairé pour nous). Des personnes pourvues d'une bonne vue pouvaient distinguer cette étoile pendant le jour, même en plein midi, quand le ciel était pur. La nuit, par un ciel couvert, lorsque toutes les autres étoiles étaient voilées, l'étoile nouvelle est restée plusieurs fois visible à travers des nuages assez épais (nubes non admodum densas). Les distances de cette étoile à d'autres étoiles de Cassiopée, que je mesurai l'année suivante avec le plus grand soin, m'ont convaincu de sa complète immobilité. A partir du mois de décembre 1572, son éclat commença à diminuer; elle était alors égale à Jupiter. En janvier 1573 elle devint moins brillante que Jupiter. Voici les résultats de mes comparaisons photométriques, en février et mars, égalité avec les étoiles du premier ordre (stellarum affixarum primi honoris; Tycho paraît n'avoir jamais voulu employer l'expression de Manilius, stellæ fixæ); en avril et mai, éclat des étoiles de 2e grandeur; en juillet et août, de 3e; en octobre et novembre, de 4e grandeur. Vers le mois de novembre, l'étoile nouvelle ne surpassait pas la 11e étoile dans le bas du dossier du trône de Cassiopée. Le passage de la 5e à la 6e grandeur eut lieu de décembre 1573 à février 1574. Le mois suivant, l'étoile nouvelle disparut, sans laisser de trace visible à la simple vue, après avoir brillé 17 mois. » Le télescope a été inventé 37 ans plus tard.

Ainsi l'étoile perdit son éclat d'une manière successive et parfaitement régulière, sans présenter des périodes de recrudescence, comme l'a fait de nos jours η d'Argo, étoile qu'on ne peut assurément appeler nouvelle. La couleur changeait aussi bien que l'éclat, ce qui donna lieu, plus tard, à une foule de conjectures erronées sur la vitesse de propagation des divers rayons colorés. Dans les premiers temps de son apparition, lorsqu'elle égalait en éclat Vénus et Jupiter, elle resta blanche pendant deux mois; elle passa en-

suite au jaune, puis au rouge. Pendant l'hiver de 1573, Tycho la compare à Mars; puis il la trouve presque semblable à l'épaule droite d'Orion (Beteigeuze). Il lui trouvait surtout de l'analogie avec la couleur rouge d'Aldébaran. Au printemps de 1573, principalement vers le mois de mai, la couleur blanchâtre reparut: « albedinem quamdam sublividam induebat, qualis Saturni stella subesse videtur. » Elle resta ainsi, en janvier 1574, de 5e grandeur et blanche, mais d'une blancheur moins pure; elle scintillait avec une vivacité extraordinaire pour sa grandeur; enfin elle conserva les mêmes apparences jusqu'à sa disparition totale en mars 1574.

Ces détails circonstanciés ([67]) montrent l'influence qu'un tel phénomène devait exercer sur les esprits, à une époque si brillante pour l'astronomie, et l'importance qu'on attachait déjà aux problèmes qu'il soulevait. Comme, malgré la rareté des étoiles nouvelles, des phénomènes de ce genre se reproduisirent 3 fois en 32 ans, sous les yeux des astronomes européens, ces événements extraordinaires et réitérés excitèrent au plus haut degré l'intérêt universel. On reconnut de plus en plus l'importance des catalogues stellaires, qui seuls peuvent donner le moyen de contrôler la nouveauté de l'étoile. On discuta leur périodicité possible ([68]), c'est-à-dire leur réapparition après plusieurs siècles. Tycho avança même hardiment une théorie sur la manière dont les étoiles se forment aux dépens de la matière cosmique, et sa théorie présente beaucoup d'analogie avec celle de William Herschel. Il croit que cette matière céleste est d'abord à l'état de nébulosité; qu'elle devient lumineuse par sa condensation; qu'elle s'agglomère enfin en formant des étoiles: « Cœli materiam, tenuissimam, ubique nostro visui et Planetarum circuitibus perviam, in unum globum condensatam, stellam effingere. » Cette matière cosmique, universellement répandue, aurait acquis déjà un certain degré de condensation dans la Voie lactée, où elle brille d'une douce lueur argentée. C'est pourquoi l'étoile nouvelle se trouvait, comme celles qui parurent en

945 et 1264, au bord même de la Voie lactée « quo factum est quod nova stella in ipso Galaxiæ margine constiterit; » et même on reconnaît encore la place (le hiatus) que la matière de la Voie lactée a laissée vide en se condensant ([69]). Ces aperçus rappellent des théories qui eurent cours au commencement du XIXe siècle, la transformation de la matière nébuleuse en amas stellaires, la force de concentration qui condense peu à peu cette matière, en donnant naissance à une étoile centrale, et toutes ces hypothèses sur la marche que suit la matière nebuleuse, pour former des globes solides. Ces idées ont régné un instant; aujourd'hui elles sont rejetées comme douteuses. Tel est le sort des hypothèses, dans l'éternelle fluctuation des opinions et des systèmes.

Je rassemble ici toutes les apparitions des étoiles nouvelles temporaires sur la certitude desquelles on peut compter jusqu'à un certain point:

(*a*) 134 avant J. C. dans le Scorpion.
(*b*) 123 après J. C. dans Ophiucus.
(*c*) 173 dans le Centaure.
(*d*) 369?
(*e*) 386 dans le Sagittaire.
(*f*) 389 dans l'Aigle.
(*g*) 393 dans le Scorpion.
(*h*) 827? dans le Scorpion.
(*i*) 945 entre Céphée et Cassiopée.
(*k*) 1012 dans le Bélier.
(*l*) 1203 dans le Scorpion.
(*m*) 1230 dans Ophiucus.
(*n*) 1264 entre Céphée et Cassiopée.
(*o*) 1572 dans Cassiopée.
(*p*) 1578.
(*q*) 1584 dans le Scorpion.
(*r*) 1600 dans le Cygne.
(*s*) 1604 dans Ophiucus.
(*t*) 1609.
(*u*) 1670 dans le Renard.
(*v*) 1848 dans Ophiucus.

Éclaircissements.

(*a*) Première apparition, entre β et ρ du Scorpion, en juillet de l'an 134 av. J.-C.; extrait de la Collection chinoise de Matuan-lin, traduite et coordonnée par le savant linguiste Édouard Biot (*Connaissance des temps*, pour l'an 1846, p. 61). On trouve, dans ce catalogue, la description des étoiles ***extraordinaires***, d'un aspect étranger, que les Chinois nommaient *étoiles hôtes* (Ke-sing, étrangers d'une physionomie singulière). Ces étoiles sont distinguées, par les observateurs eux-mêmes, des comètes pourvues de queue; mais les étoiles nouvelles immobiles sont mêlées d'un certain nombre de comètes sans queue et changeant de position. Cependant on peut trouver un criterium important, sinon infaillible, pour les distinguer, dans l'indication d'un mouvement (Kesing de 1092, 1181 et 1458)ou dans l'absence de toute indication de ce genre, comme dans la formule: « le Ke-sing s'est dissous » et a disparu. On peut rappeler encore que la tête des comètes, avec ou sans queue, brille toujours d'une lumière faible et douce, et ne scintille jamais, tandis que l'éclat des étoiles extraordinaires, signalées par les Chinois, est comparé à celui de Vénus, ce qui ne saurait convenir aux comètes en général, et encore moins aux comètes sans queue. L'étoile qui parut en 134 avant J.-C, sous l'antique dynastie des Han, pourrait être, suivant Sir John Herschel, l'étoile nouvelle dont parle Pline, celle qui aurait déterminé Hipparque à entreprendre son catalogue. Le dire de Pline a été traité d'historiette par Delambre (*Hist. de l'Astr. anc.*, t. I, p. 290 et *Hist. de l'Astr. mod.*, t. I, p. 186). Mais comme Ptolémée affirme expressément (*Almag.* VII, 2, p. 13, éd. Halma) que le catalogue d'Hipparque est relatif à l'an 128 avant notre ère, et comme Hipparque observait à Rhodes et peut-être aussi à Alexandrie, entre les années 162 et 127 avant J. C., ainsi que je l'ai déjà dit dans un autre endroit, il n'y a rien à opposer à l'assertion de Pline, ou à la conjecture d'Herschel. On peut bien croire, en effet, que le grand astronome de Nicée a observé longtemps avant l'époque où il se détermina à construire un catalogue d'étoiles. L'expression de Pline « suo ævo genita » se rapporte évidemment à la vie entière d'Hipparque. Lorsque l'étoile de 1572 apparut (celle de Tycho), on disputa longtemps sur la question de savoir si l'étoile d'Hipparque était bien une étoile

nouvelle ou une comète sans queue. Tycho avait adopté la première opinion (*Progymn.*, p. 319-325). Les mots « ejusque *motu* ad dubitationem adductus » pourraient faire penser qu'il s'agissait d'une comète faible ou sans queue; mais le langage un peu factice de Pline s'accommode de toute espèce d'ambiguïté dans l'expression.

(*b*) Apparition signalée par les Chinois, en décembre de l'année 123 après notre ère, entre α d'Hercule et α d'Ophiucus: collection de Ma-tuan-lin, d'après Éd. Biot. (Il paraitrait qu'il y aurait eu encore une autre apparition d'étoile nouvelle sous Adrien, vers l'an 130.)

(*c*) Étoile singulière et très-grande, tirée de Ma-tuan-lin, ainsi que les trois suivantes. Elle parut, le 10 décembre 173, entre α et β du Centaure, et disparut huit mois plus tard, après avoir montré les *cinq couleurs l'une après l'autre*. Édouard Biot dit *successivement*, dans sa traduction: On pourrait conclure de cette expression que cette étoile a présenté, à diverses époques, une série de couleurs analogues à celles de l'étoile de Tycho; mais Sir John Herschel croit qu'il s'agit seulement d'une scintillation colorée (*Outlines*, p. 563); c'est la même interprétation qu'Arago a donnée d'une expression presque identique dont Kepler s'était servi, pour l'étoile nouvelle de 1604 dans le Serpentaire (*Annuaire pour* 1842, p. 347).

(*d*) Elle brilla depuis le mois de mars jusqu'au mois d'août de l'an 369.

(*e*) Entre λ et φ du Sagittaire. Le catalogue chinois indique encore ici expressément le lieu « où l'étoile demeura depuis le mois d'avril jusqu'à celui de juillet 386. » Elle était donc immobile.

(*f*) Étoile nouvelle près de α de l'Aigle: d'après le récit de Cuspinianus, témoin oculaire, elle brillait avec l'éclat de Vénus, du temps de l'empereur Honorius, en 389. Elle disparut trois semaines après, sans laisser de traces (7°).

(*g*) Mars 393; encore dans le Scorpion, mais cette fois dans la queue; tirée du catalogue de Ma-tuan-lin.

(*h*) L'année 827 est douteuse; il est plus sûr de dire: dans la première moitié du IXe siècle. C'est en effet vers cette époque, et sous le règne du Calife Al-Mamoun, que deux célèbres astronomes arabes, Haly et Giafar Ben Mohammed Alboumazar, observèrent, à Babilone, une étoile nouvelle « dont la lumière égalait

celle de la Lune dans son premier quartier! » Cet événement eut encore lieu dans le Scorpion: l'étoile s'évanouit après un intervalle de quatre mois.

(i) L'apparition de cette étoile, en 945, sous l'empereur Othon le Grand, ainsi que celle de l'an 1264, reposent uniquement sur le témoignage de l'astronome bohémien Cyprianus Leovitius, qui assure avoir puisé ses renseignements dans une Chronique manuscrite. Cet astronome fait remarquer en même temps que les deux apparitions de 945 et de 1264 ont eu lieu entre Céphée et Cassiopée, tout près de la Voie lactée, précisément à l'endroit où l'étoile de Tycho s'est montrée en 1572. Dans les *Progymnasmata* (p. 331 et 709), Tycho prend parti pour Cyprianus Leovitius contre Pontanus et Camerarius qui le soupçonnaient d'avoir confondu des comètes à longues queues avec des étoiles nouvelles.

(*k*) D'après le témoignage d'Hepidannus, moine de Saint-Gall mort en 1088, et dont les annales s'étendent de 709 à 1044, une étoile nouvelle d'une grandeur extraordinaire et d'un éclat éblouissant (oculos verberans) parut vers la fin du mois de mai 1012, dans le signe du Bélier, au point le plus méridional du ciel, et y resta visible pendant 3 mois. Elle parut tantôt plus grande, tantôt plus petite, et quelquefois on cessait de la voir. « Nova stella apparuit insolitæ magnitudinis, aspectu fulgurans, et oculos verberans non sine terrore. Quæ mirum in modum aliquando contractior, aliquando diffusior, etiam extinguebatur interdum. Visa est autem per tres menses in intimis finibus Austri, ultra omnia signa quæ videntur in cœlo. » (*Hepidanni Annales breves* dans Duquesne, *Historiæ Francorum Scriptores*, t. III, 1641, p. 477: Cf. aussi Schnurrer, *Chronik der Seuchen*, 1re part., p. 201.) Le manuscrit consulté par Duchesne et par Goldast place cette apparition en 1012; mais d'après de récentes critiques historiques, il faut préférer les indications d'un autre manuscrit qui est en désaccord fréquent avec le premier, et qui recule, par exemple, toutes les dates de 6 ans. Il place l'apparition de l'étoile nouvelle dans l'année 1006 (Cf. *Annales Sangallenses majores* dans Pertz, *Monumenta Germaniæ historica, Scriptorum* t. I, 1826, p. 81). De nouvelles recherches ont même rendu douteux qu'Hepidannus ait jamais écrit. Le singulier phénomène de la *variabilité* a été nommé par Chladni la *combustion* et la *destruction* d'une étoile. Hind pense que l'étoile d'Hepidannus est identique avec une au-

tre étoile nouvelle de Ma-tuan-lin, qui aurait été vue, en Chine, dans le mois de février 1011, entre σ et φ du Sagittaire (*Notices of the R. Astron. Soc.*, t. VIII, 1848, p. 156). Mais alors il faudrait que Ma-tuan-lin se fût trompé à la fois sur l'année et sur la constellation où l'étoile a fait son apparition.

(*l*) A la fin de juillet 1203 dans la queue du Scorpion. « Étoile nouvelle, de couleur bleuâtre, sans nébulosité lumineuse, et semblable à Saturne, » d'après les catalogues chinois (Édouard Biot dans la *Connaissance des temps pour* 1846, p. 68).

(*m*) Encore une observation chinoise tirée de Ma-tuan-lin, dont le catalogue astronomique, contenant les positions assez exactes des comètes et des étoiles, remonte à 613 ans avant J. C., c'est-à-dire, à l'époque de Thalès et de l'expédition de Colæus de Samos. La nouvelle étoile parut, vers le milieu de décembre 1230, entre Ophiucus et le Serpent. *Elle s'évanouit* à la fin de mars 1231.

(*n*) C'est l'étoile dont parle l'astronome bohémien Cyprianus Leovitius (voir plus haut (*i*) l'étoile de l'an 945). A la même époque (juillet 1264) parut une grande comète dont la queue embrassait la moitié du ciel, et qui par conséquent n'a pu être confondue avec l'étoile nouvelle qui apparut entre Céphée et Cassiopée.

(*o*) L'étoile de Ticho, du 11 novembre 1572, dans le trône de Cassiopée; Asc. dr. = 3° 26'; Décl. = 63° 3' (pour 1800).

(*p*) En février 1578, d'après Ma-tuan-lin. La constellation n'est point indiquée. Il faut que l'éclat de cette étoile ait été bien extraordinaire pour que le catalogue chinois ajoute: « une étoile grande comme le Soleil! »

(*q*) Le 1er juillet 1584, près de π du Scorpion; observation chinoise.

(*r*) L'étoile 34 du Cygne, d'après Bayer. Guillaume Janson, géographe distingué, qui avait observé quelque temps sous la direction de Tycho, est le premier qui ait fixé son attention sur cette nouvelle étoile située dans la poitrine du Cygne, au commencement du col; c'est ce que prouve une inscription de son globe céleste. Képler manquant d'instruments depuis la mort de Tycho, et empêché d'ailleurs par ses voyages, ne commença à l'observer que deux années plus tard; il n'apprit même son existence que vers cette époque; circonstance singulière, car l'étoile était de 3e grandeur. « Cum mense Maio anni 1602, dit-il, pri-

muni litteris monerer de novo Cygni phænomeno.... » (Képler, *De Stella nova tertii honoris in Cygno* 1606, addition à l'ouvrage *De Stella nova in Serpent.*, p. 152, 154, 164 et 167). On ne trouve nulle part, dans le traité de Képler, que l'étoile nouvelle du Cygne ait débuté par être de 1re grandeur, quoiqu'on l'ait dit souvent dans des écrits récents. Képler la nomme *parva Cygni stella*, et la classe toujours dans la 3e grandeur. Il la place par 300° 46' d'Asc. dr. et + 36° 52' de Décl., ce qui donne pour 1800: 302° 36' et + 37° 27'. L'étoile diminua d'éclat, surtout à partir de 1619, et finit par disparaître en 1621. Dominique Cassini l'a revue en 1655; elle atteignit la 3e grandeur et disparut de nouveau (Cf. Jacques Cassini, *Élém. d'Astr.*, p. 69). Hevelius l'observa de nouveau en novembre 1665; elle était d'abord très-faible; puis elle augmenta, mais sans atteindre cette fois la troisième grandeur. Entre 1677 et 1682, elle était déjà descendue à la 6e grandeur; elle est restée au ciel dans cet ordre d'éclat. Sir John Herschel la cite dans la liste des étoiles changeantes, mais non Argelander.

(*s*) Après l'étoile que l'on vit en 1572, dans Cassiopée, la plus célèbre est celle qui parut en 1604 dans le Serpentaire, par 259° 42' d'Asc. dr. et 21° 15' de Déclin. australe (pour 1800). A l'une, comme à l'autre, se rattache un grand nom. L'étoile nouvelle du pied droit du Serpentaire ne fut pas découverte, à la vérité, par Képler lui-même, mais par son élève Jean Brunowski, de Bohême, le 10 octobre 1604. « Elle surpassait les étoiles de 1re grandeur, elle surpassait même Jupiter et Saturne: mais elle était moins brillante que Vénus. Herlicius prétend l'avoir observée dès le 27 septembre. Son éclat était moindre que celui de l'étoile de Tycho, en 1572; aussi n'était-elle pas visible en plein jour comme celle-ci; mais sa scintillation était beaucoup plus vive et c'est par là surtout qu'elle excitait l'étonnement des observateurs. Comme la scintillation se rattache toujours au phénomène de la dispersion des couleurs, il n'est pas surprenant qu'on ait tant parlé de sa lumière colorée et de ses continuelles variations. Arago (*Annuaire pour* 1804, p. 299-301; et *Annuaire pour* 1842, p. 345-347) a déjà fait remarquer que l'étoile de Képler n'a nullement présenté, comme celle de Tycho, des variations de couleur permanentes, en passant successivement, et pour un temps considérable, du blanc au jaune, du jaune au rouge et enfin du rouge au blanc. Képler dit, de la manière la plus nette, que cette étoile paraissait blanche, quand elle s'était élevée au-

dessus des vapeurs de l'horizon. S'il parle des couleurs de l'Iris, c'est seulement pour mieux peindre le phénomène de sa scintillation colorée: « Exemplo adamantis multanguli, qui Solis radios inter convertendum ad spectantium oculos variabili fulgore revibraret, colores Iridis (stella nova in Ophiucho) successive vibratu *continuo* reciprocabat. » (*De nova Stella Serpent.*, p. 5 et 125). Au commencement du mois de janvier 1605, l'étoile était encore plus brillante qu'Antarès, mais un peu inférieure à Arcturus. À la fin de mars de la même année, on la fait de 3ᵉ grandeur. Le voisinage du Soleil vint interrompre les observations pendant 4 mois. Entre février et mars 1606, elle disparut sans laisser de traces. Certaines observations fort inexactes de Scipion Claramonti et du géographe Blaeu (Blaew), sur les changements de position de l'étoile nouvelle, méritent à peine une mention, ainsi que le remarque déjà J. Cassini dans ses *Élém. d'Astron.*, p. 65; elles étaient d'ailleurs en contradiction avec le travail beaucoup plus sûr de Képler. Le catalogue chinois de Ma-tuan-lin contient une apparition qui, pour la date et la position, présente quelque analogie avec celle de l'étoile nouvelle du Serpentaire. Le 30 septembre 1604, on vit en Chine, près de π du Scorpion, une étoile de couleur orangée (« de la grosseur d'une boule » ?). Elle brilla au sud-ouest jusqu'au mois de novembre de la même année et devint alors invisible. Elle reparut, le 14 janvier 1605, au sud-est; mais elle devint un peu plus obscure en mars 1606 (*Connaissance des temps pour* 1846, p. 59). Le lieu désigné ici par π du Scorpion peut être aisément confondu avec le pied du Serpentaire; mais les expressions sud-ouest et sud-est, la réapparition et surtout la circonstance qu'aucune disparition finale n'est indiquée, répandent quelques doutes sur l'identité des deux astres.

(*t*) Encore une nouvelle étoile de Ma-tuan-lin; grandeur considérable; vue au sud-ouest. Il n'y a pas d'autres indications.

(*u*) Étoile nouvelle, découverte le 20 juin 1670, par le chartreux Anthelme, dans la tête du Renard, assez près de β du Cygne. Asc. dr. $= 294° 27'$; Décl. $= + 26° 47'$. Elle était d'abord de 3ᵉ grandeur seulement; elle descendit ensuite à la 5ᵉ grandeur, vers le 10 août. Elle disparut au bout de 3 mois, mais pour reparaître le 17 mars 1671, avec l'éclat d'une étoile de 4ᵉ grandeur. Dominique Cassini l'observa assidûment en avril 1671; il lui trouvait une lumière fort variable. On pensa qu'elle reviendrait, avec le même éclat, au bout d'une période de 10 mois; il

n'en fut rien: on la chercha vainement en février 1672. Ce ne fut que le 29 mars de la même année qu'elle fit sa réapparition, mais elle était seulement de 6e grandeur et depuis ce temps on ne l'a jamais revue (Jacques Cassini, *Éléments d'Astr.*, p. 69-71). Cette apparition engagea Dominique Cassini à rechercher les étoiles qui n'avaient point encore été vues (par lui). Il pense en avoir trouvé 14 de 4e, 5e et 6e grandeur (8 dans Cassiopée, 2 dans l'Éridan et 4 près du pôle boréal). Comme nous manquons de tout renseignement sur ces étoiles, de même que sur celles dont Maraldi s'est occupé de 1694 à 1709, on doit les considérer comme étant plus que douteuses, et il nous est impossible d'en faire autrement mention (Jacques Cassini), *Élém. d'Astr.*, p. 73-77; Delambre, *Hist. de l'Astr. mod.*, t. II, p. 780).

(v) Depuis l'apparition de l'étoile nouvelle du Renard, il se passa 178 ans sans qu'un phénomène semblable se présentât; cependant le ciel avait été exploré avec le plus grand soin, pendant cet intervalle, grâce à l'emploi assidu des lunettes et à la construction de catalogues stellaires de plus en plus exacts. Enfin le 28 avril 1848, Hind découvrit une étoile nouvelle à l'observatoire particulier de Bishop (South Villa, Regent's Park). Son étoile était de 5e grandeur, de couleur rougeâtre, et située dans le Serpentaire par $16^h\ 50^m\ 59^s$ d'Asc. dr. et $12°\ 39'\ 16''$ de Décl. australe (pour 1848). Pour aucune autre étoile nouvelle, la nouveauté de l'apparition ou l'invariabilité de position n'ont été constatées avec autant de soin et d'exactitude. Elle est aujourd'hui (1850) de 11e grandeur à peine; d'après les observations assidues de Lichtenberger, il est probable qu'elle va bientôt disparaître totalement (*Notices of. the Astr. Soc.*, t. VIII, p. 146 et 155-158.

Ce tableau des étoiles nouvelles qui ont paru et disparu depuis 2000 ans, est peut-être un peu plus complet que les tableaux du même genre publiés jusqu'à ce jour. Il nous suggère les remarques suivantes. On doit distinguer trois classes de phénomènes; les étoiles qui apparaissent subitement et disparaissent au bout d'un temps plus ou moins long; celles dont l'éclat est soumis à des variations périodiques déterminées dès à présent; et celles qui, comme η d'Argo, augmentent tout d'un coup d'éclat, et présentent ensuite des variations dont la loi nous échappe. L'étoile nouvelle

de l'an 1600 (dans le Cygne), qui disparut tout à fait, mais seulement sans doute pour l'œil nu, et reparaissant ensuite, resta définitivement à l'état d'étoile de 6e grandeur, nous montre bien l'affinité des phénomènes des deux premières classes. On croyait déjà, du temps de Tycho, que l'étoile nouvelle de 1572 (dans Cassiopée) pourrait bien être la même que celles de 945 et de 1264. Comme les intervalles peut-être un peu incertains, sont de 319 et de 308 ans, Goodricke soupçonna une période de trois siècles; Keill et Pigott la réduisirent de moitié et en firent une période de 150 ans. Mais Arago a montré que l'étoile de 1572 ne saurait être rangée, avec vraisemblance, au nombre des étoiles périodiquement variables (71). Rien, jusqu'ici, n'autorise à considérer *toutes* les étoiles nouvelles comme de simples étoiles variables à longue période, qui nous seraient restées inconnues, à cause de la longueur même de leur période. Si, par exemple, la lumière propre de tous les soleils du firmament résulte du jeu des actions électro-magnétiques dans leurs photosphères, il n'est pas nécessaire de recourir à une condensation locale et temporaire de l'éther, ou à l'interposition momentanée de prétendus nuages cosmiques, pour expliquer les variations de cette lumière, que ces variations soient d'ailleurs régulières ou non, qu'elles se reproduisent à des époques marquées, ou qu'elles aient lieu une seule fois. Les phénomènes de lumière qui naissent des actions électriques à la surface de notre propre globe, les éclairs, par exemple, ou les aurores polaires, ne montrent-ils pas, au milieu de nombreuses irrégularités apparentes, une certaine périodicité dépendant des saisons ou même des heures du jour? On peut en dire autant des petits nuages qui se forment souvent, plusieurs jours de suite, par un ciel serein, et toujours aux mêmes places; témoin les anomalies persistantes qu'on retrouve ensuite dans les observations astronomiques instituées dans de pareilles circonstances.

Une des particularités les plus intéressantes à mes yeux, dans ces phénomènes, c'est que les étoiles nouvelles appa-

raissent presque toutes avec le plus vif éclat: elles surpassent, de prime abord, les étoiles de première grandeur, et pour la vivacité de la lumière et pour celle de la scintillation; en un mot, on ne les voit pas, du moins à l'œil nu, atteindre par degrés leur maximum d'éclat. Képler attachait tant d'importance à cette espèce de criterium ([72]), qu'il s'en faisait un argument contre les assertions du Politien. Ce dernier prétendait avoir découvert l'étoile nouvelle du Serpentaire (en 1604) longtemps avant Brunowski; sa réclamation contestée par Képler, était conçue en ces termes: « Apparuit nova stella parva, et postea de die in diem crescendo apparuit lumine non multo inferior Venere, superior Jove. » Tois étoiles seulement font exception à la règle, et ont présente une augmentation d'éclat progressive; ce sont: l'étoile de 3e grandeur de 1600 (dans le Cygne), celle de 1670 (dans le Renard), et l'étoile nouvelle de Hind dans le Serpentaire (en 1848).

Il est bien à regretter que ces phénomènes soient devenus si rares, depuis 178 ans. Ils ne se sont présentés en effets que deux fois pendant ce long intervalle, tandis qu'ils s'étaient concentrés, pour ainsi dire, dans les siècles précédents: 4 en 24 ans, vers la fin du IVe siècle; 3 en 61 ans, au XIIIe; et 6 en 37 ans, vers l'époque de Tycho et de Képler, entre la fin du XVIe et le commencement du XVIIe siècle. Je compte ici, bien entendu, les *étoiles extraordinaires* observées par les Chinois, car, au dire des juges compétents, la majeure partie de ces observations est digne de confiance. A la vérité, les étoiles vues en Europe n'ont point toujours été consignées dans la collection de Ma-tuan-lin; celle de Tycho (1572) ne s'y trouve point; peut-être même celle de Képler (1604) ne saurait-elle être identifiée avec aucune des étoiles observées en Chine. La raison de ces discordances m'échappe; il est tout aussi difficile d'en rendre compte, que d'expliquer comment le grand phénomène lumineux, observé en Chine au mois de février 1570, n'a point été aperçu et mentionné par les Européens. Dans tous les cas, ce n'est pas la différence des

longitudes des deux pays (114°) qui pourrait expliquer ces contradictions. Mais les personnes habituées à ce genre de recherches savent que l'absence de toute mention historique, en fait d'événements politiques ou célestes, ne prouve rien contre leur existence. Que l'on compare d'ailleurs entre eux les trois catalogues compris dans la collection de Ma-tuan-lin, et l'on trouvera dans l'un d'eux des apparitions de comètes, par exemple celles de 1385 et de 1495, qui ne sont point rapportées dans les autres ou dans l'un des autres.

Les anciens et les modernes, Tycho et Képler, comme Sir John Herschel et Hind, ont fait remarquer que la plupart des étoiles nouvelles parurent dans l'intérieur ou sur les bords de la Voie lactée. Les 4/5 de ces étoiles observées en Europe ou en Chine sont dans ce cas. La Voie lactée est-elle un simple agrégat d'étoiles télescopiques, dont la réunion en strates annulaires nous offre l'apparence d'une douce lumière nébuleuse? Alors l'idée de Tycho porte complètement à faux; il n'est plus permis de se représenter les étoiles nouvelles comme de simples formations opérées sous nos yeux aux dépens de la matière cosmique. Sans doute la gravitation générale s'exerce aussi dans ces couches stellaires, dans ces amas d'étoiles plus ou moins condensées; on peut même concevoir un mouvement de rotation autour d'un centre commun; mais on ne saurait aller plus loin sans tomber dans le domaine de l'indétermination et des mythes astrognosiques. Parmi les 21 étoiles nouvelles citées dans la liste précédente, 5 appartiennent au Scorpion (134, 393, 827, 1203, 1584); 3 à Cassiopée et à Céphée (945, 1264, 1572); 4 au Serpentaire (123, 1230, 1604, 1848). Celle de 1012, l'étoile du moine de Saint-Gall, a paru dans une région très éloignée de la Voie lactée, dans le Bélier. Képler a même cité, comme une seconde exception à la règle générale, l'étoile de la Baleine qui passait alors pour nouvelle, parce que Fabricius, après l'avoir découverte en 1596, l'avait vue disparaître au mois d'octobre de la même année (Képler, *De Stella nova Serp.*, p. 112) Tou-

jours est-il que la fréquence de ces apparitions dans les mêmes constellations, c'est-à-dire dans de certaines directions déterminées par les étoiles du Scorpion, par exemple, ou celles de Cassiopée, peut porter à croire que la production de ces phénomènes est favorisée par des causes tout à fait locales.

La plus courte durée de l'incandescence des étoiles nouvelles s'est présentée dans les apparitions des années 389, 827 et 1012. La première a brillé 3 semaines, la seconde, 1 mois, et la troisième s'est éteinte au bout de 3 mois. L'étoile de Tycho, au contraire, a duré 17 mois; celle de Képler (en 1600, dans le Cygne) est restée visible pendant 21 années entières. Elle reparut en 1655, de 3e grandeur comme la première fois, mais pour se fixer ensuite à la 6e grandeur. Cependant Argelander n'a pas cru devoir la placer dans la classe des étoiles périodiquement variables.

Étoiles disparues. — L'étude et l'énumération exacte de ces étoiles sont importantes pour la recherche des petites planètes, qui existent probablement en si grand nombre dans certaines régions de notre système planétaire; mais malgré l'exactitude avec laquelle les positions d'une multitude d'étoiles télescopiques ont été enregistrées dans les catalogues et les cartes modernes, il est souvent difficile de constater d'une manière irrécusable, qu'une étoile manque au ciel depuis une époque déterminée. Les meilleurs catalogues sont souvent entachés de fautes provenant de l'observation, des calculs de réduction et surtout de l'impression ([73]). D'ailleurs ce fait qu'un astre disparaît de la place où il a été vu une première fois, peut tenir tout aussi bien à un mouvement propre qu'à un affaiblissement réel de sa lumière. Ce que nous ne voyons plus n'a donc pas nécessairement disparu. L'idée d'une destruction, d'une combustion réelle des étoiles devenues invisibles, appartient à l'époque de Tycho. Pline lui-même pose cette question, dans un beau passage sur Hipparque: « stellæ an obirent nascerenturve. » L'éternel jeu des créations et des destructions apparentes

ne conclut point à un anéantissement de la matière; c'est une pure transition vers de nouvelles formes déterminées par l'action de forces nouvelles. Des astres devenus obscurs, peuvent redevenir subitement lumineux par le jeu renouvelé des mêmes actions qui y avaient primitivement développé la lumière.

Étoiles périodiquement variables. — Puisque tout est en mouvement sur la voûte céleste, puisque tout change dans le temps et dans l'espace, l'analogie nous conduit à admettre que si les étoiles, prises dans leur ensemble, possèdent des mouvements réels, et non point de simples mouvements apparents, de même leurs surfaces ou leurs photosphères peuvent être le siége de variations réelles de lumière. Pour le plus grand nombre des étoiles, ces variations se reproduisent périodiquement, mais par périodes excessivement longues, qui n'ont pu être encore déterminées, et sont peut-être même à jamais indéterminables. Pour le petit nombre, ces variations non périodiques se produisent pendant un temps plus ou moins court, comme par une révolution subite. Je n'ai point à m'occuper ici de cette dernière classe de phénomènes, dont une belle étoile du Navire nous a offert récemment un remarquable exemple: je ne veux parler que des étoiles changeantes dont les périodes ont été déjà reconnues et mesurées. Il était essentiel, avant tout, de distinguer soigneusement entre trois grands phénomènes de la nature sidérale, dont on n'a pu encore saisir la connexité, à savoir: la périodicité constatée de certaines étoiles variables; l'apparition des étoiles nouvelles; les changements subits d'éclat que présentent d'autres étoiles, connues depuis longtemps pour avoir toujours conservé jusque-là le même éclat uniforme. C'est uniquement, ai-je dit, de la première classe de variations que nous aurons à nous occuper ici. Mira Ceti, étoile située dans le col de la Baleine, en a offert le premier exemple, exactement observé (1638). Un pasteur protestant de la Frise orientale, David Fabricius, père de l'astronome auquel on doit la découverte des taches du Soleil, avait déjà remarqué cette étoile

en 1596; le 13 août, elle lui paraissait être de 3e grandeur, et il la vit disparaître dans le mois d'octobre de la même année. Mais ce fut un professeur de Francker, Jean Phocylides Holwarda, qui découvrit, 42 ans plus tard, les alternatives d'éclat et d'extinction, en un mot la variabilité de cette étoile. Cette découverte fut suivie, dans le même siècle, de celle de deux autres variables: β de Persée (1669), décrite par Montanari, et χ du Cygne (1687), par Hirch.

Les irrégularités singulières qu'on ne tarda point à remarquer dans les périodes, et le nombre croissant des étoiles variables, ont appelé le plus vif intérêt sur cette étude, dès le commencement du XIXe siècle. Considérant la difficulté du sujet, animé d'ailleurs du désir de présenter, dans cette partie de mon ouvrage, les éléments numériques de la variabilité, avec toute l'exactitude requise par l'état actuel de la science, je me suis déterminé à invoquer le secours amical de l'astronome qui s'est le plus occupé de cette question et dont les brillants travaux ont fait faire tant de progrès à l'étude des étoiles périodiquement variables. Les questions et les doutes, auxquels mon propre travail a pu donner lieu, ont été soumis avec confiance à mon excellent ami Argelander, directeur de l'observatoire de Bonn; c'est à ses communications, encore entièrement inédites, que je dois ce qui suit.

Les étoiles variables sont, pour la plupart, tout à fait rouges ou rougeâtres; mais toutes ne le sont pas. Par exemple, β de Persée (Algol dans la Tête de Méduse), β de la Lyre et ε du Cocher sont des étoiles blanches; η de l'Aigle est un peu jaunâtre; ζ des Gémeaux l'est aussi, mais moins. On a affirmé autrefois, sans preuves bien réelles, que certaines étoiles variables, particulièrement Mira de la Baleine, sont plus rouges, lorsque leur éclat va en décroissant, que dans la période inverse. Dans l'étoile double α d'Hercule, la composante principale, rouge suivant Sir William Herschel, jaune suivant Struve, est une étoile variable; elle a pour compagnon une étoile d'un bleu foncé que l'on a crue également variable, parce que les estimations de sa grandeur

présentaient de notables divergences (de la 5ᵉ à la 7ᵉ grandeur); mais cette opinion paraît très-problématique. Struve lui-même dit seulement: Suspicor minorem esse variabilem ([74]). La variabilité n'est nullement liée à la teinte rouge. Il y a beaucoup d'étoiles rougeâtres et même fortement teintes en rouge, comme Arcturus et Aldébaran, dans lesquelles on n'a pu découvrir le moindre changement d'éclat. Il est encore fort douteux qu'on doive ranger parmi les variables une étoile de Céphée, à laquelle W. Herschel donnait, en 1782, le nom d'*étoile grenat*, à cause de sa couleur d'un rouge extrêmement vif. C'est le nº 7582 du Catalogue de l'Association Britannique.

Il est difficile d'assigner exactement le nombre des étoiles périodiques, parce que les périodes actuellement déterminées ne méritent pas toutes une égale confiance. Par exemple, les deux variables de Pégase, α de l'Hydre, ε du Cocher, α de Cassiopée n'offrent pas la même certitude que Mira de la Baleine, Algol et δ de Céphée. Si donc il s'agit de former un tableau des étoiles périodiques, la première chose à faire est de fixer le degré d'exactitude dont on veut se contenter. Argelander porte à 24 seulement le nombre des périodes actuellement connues avec une précision satisfaisante ([75]). Tel est aussi le nombre des étoiles inscrites dans la liste qu'on trouvera plus loin.

De même que le phénomène de la variabilité se retrouve à la fois dans des étoiles rouges et dans des étoiles blanches, de même il paraît affecter indifféremment divers ordres de grandeur. Par exemple, α d'Orion est de 1ʳᵉ grandeur; Mira de la Baleine est de 2ᵉ, comme α de l'Hydre, α de Cassiopée et β de Pégase; β de Persée est de 2ᵉ à 3ᵉ grandeur; η de l'Aigle et β de la Lyre, de 3ᵉ à 4ᵉ. Il a aussi des variables parmi les étoiles comprises entre la 6ᵉ et la 9ᵉ grandeur, et même elles sont là beaucoup plus nombreuses. Telles sont les variables de la Couronne, de la Vierge, de l'Écrevisse et du Verseau. L'étoile χ du Cygne présente en outre des grandes oscillations d'éclat à son maximum.

Que les périodes des étoiles variables soient très-irrégulières, c'est ce qu'on avait reconnu depuis longtemps; mais que ces irrégularités mêmes soient soumises à certaines lois fixes, c'est ce qu'Argelander a su établir de la manière la plus irrécusable : il se propose d'en donner les preuves dans un Mémoire detaillé qu'il prépare en ce moment. Pour χ du Cygne, il admet aujourd'hui deux perturbations dans la période, l'une de 100, l'autre de 8 1/2 périodes élémentaires; ces deux perturbations lui paraissent plus probables qu'une seule de 108 périodes. A quelle cause faut-il rapporter ces perturbations? Faut-il chercher cette cause dans l'atmosphère propre de l'étoile même, ou dans la révolution d'un satellite circulant autour de χ du Cygne, comme autour d'un soleil, et agissant par attraction sur sa photosphère? Ce sont là des questions auxquelles il est encore impossible de répondre.

L'étoile qui présente les irrégularités les plus fortes, dans ses changements d'éclat, est assurément la variable de l'Écu de Sobieski, car cette étoile descend parfois de la 5. 4ᵉ grandeur à la 9ᵉ. Elle a même disparu complètement, au dire de Pigott, vers la fin du dernier siècle. A d'autres époques, ses oscillations se sont restreintes entre la 6. 5ᵉ et la 6ᵉ grandeur. Le maximum d'éclat de χ du Cygne varie entre la 6. 7ᵉ et la 4ᵉ grandeur; celui de Mira entre la 4ᵉ et la 2. 1ᵉ grandeur.

La variable δ de Céphée présente dans ses périodes une régularité frappante; elle surpasse, à cet égard, toutes les autres étoiles changeantes, comme le prouvent les observations de 87 minima, qui ont eu lieu entre le 10 octobre 1840 et le 8 janvier 1848. Pour ε du Cocher, un infatigable observateur, M. Heis, à Aix-la-Chapelle, trouve que les variations du maximum d'éclat sont comprises entre la 3. 4ᵉ grandeur et la 4. 5ᵉ ([76]).

Mira ou ο de la Baleine présente de grandes différences, aux époques du maximum d'éclat. Le 6 novembre 1779, par exemple, Mira était à peine inférieure à Aldébaran; plus d'une fois elle a dépassé la 2ᵉ grandeur. Mais, à d'autres

époques, elle n'a même pas atteint l'éclat de δ de la Baleine (4ᵉ gr.). Sa grandeur moyenne est égale à celle de γ de la Baleine (3ᵉ gr.). Si l'on désigne par 0 l'éclat des dernières étoiles visibles à l'œil nu, et celui d'Aldébaran par 50, on peut dire que Mira oscille, vers son maximum, entre 20 et 47. Son éclat probable peut être représenté par 30; mais elle est plus souvent au-dessous qu'au-dessus de cette limite. Ces derniers écarts sont, du reste, les plus frappants. On n'a pu, jusqu'à présent, rattacher les oscillations de Mira à aucune période bien nette; il y a seulement quelque raison de soupçonner une période de 40 ans et une seconde période de 160 ans.

D'une étoile à l'autre, les durées des changements d'éclat varient beaucoup: les extrêmes sont dans le rapport de 1 à 250. La plus courte période est, sans contredit, celle de β de Persée, dont la durée est de 68 heures 49 minutes; à moins pourtant qu'une période plus courte (moins de 2 jours), attribuée à la Polaire, ne se confirme. Après β de Persée, viennent δ de Céphée (5 jours 8^h 49^m, η de l'Aigle (7j 4^h 14^m), et ζ des Gémeaux (10j 3^h 35^m). Les plus longues périodes sont celles de 30 de l'Hydre d'Hevelius (495j), de χ du Cygne (406j), de la variable du Verseau (388j), de S du Serpent (367j), et enfin de Mira ou ο de la Baleine (332j). Pour plusieurs variables, il est parfaitement établi que l'éclat augmente plus rapidement qu'il ne décroit, phénomène dont δ de Céphée présente l'exemple le plus remarquable. Pour d'autres étoiles, par exemple β de la Lyre, ces deux phases sont d'égale durée. Quelquefois ces rapports présentent eux-mêmes des anomalies dans la même étoile, mais à des époques différentes de leurs variations. En général, Mira augmente, comme δ de Céphée, plus rapidement qu'elle ne décroit; mais on a pu aussi observer l'inverse dans la même étoile.

Pour ce qui est des *périodes de périodes*, on peut citer Algol, Mira, β de la Lyre et très-probablement χ du Cygne qui en présentent plusieurs avec beaucoup de netteté. On ne doute plus aujourd'hui de la décroissance progressive

des périodes d'Algol. Goodricke ne s'en était pas aperçu; mais elle ne pouvait échapper à Argelander qui avait rassemblé, en 1842, plus de 100 bonnes observations dont les extrêmes embrassaient 58 années, c'est-à-dire 7600 périodes (Schumacher's, *Astron. Nachr.*, nos 472 et 624). La décroissance de la durée devient actuellement de plus en plus sensible ([77]). Quant à la période des maxima d'éclat de Mira, Argelander a discuté toutes les observations, y compris le maximum observé en 1596 par Fabricius, et il en a déduit une formule par laquelle tous les maxima sont représentés avec une erreur probable de 7 jours (sur une longue période de 331j 8h). Cette erreur probable serait de 15 jours, si on adoptait une période constante ([78]).

Le double maximum et le double minimum, qui ont lieu à chaque période de β de la Lyre (près de 13j), avaient été déjà signalés par Goodricke, à qui nous devons la découverte de cette étoile variable; les observations récentes ont fait disparaître tous les doutes à cet égard ([79]). Il est bien remarquable que l'étoile atteigne le même éclat dans ses deux maxima, tandis que, vers le minimum principal, elle est d'une demi-grandeur plus faible qu'au second minimum. Depuis la découverte de la variabilité de β de la Lyre, la *période dans la période* est devenue probablement de plus en plus longue. D'abord les changements étaient plus rapides; plus ils se ralentirent de plus en plus jusque vers l'époque comprise entre 1840 et 1844; alors cessa l'accroissement de la durée qui devint sensiblement constante. Aujourd'hui elle commence certainement à décroître. La variable δ de Céphée présente quelque chose d'analogue au double maximum de β de la Lyre; car la décroissance de l'éclat ne suit point un cours uniforme. Après avoir été d'abord assez rapide, elle offre ensuite un temps d'arrêt, ou du moins une vitesse bien plus faible, jusqu'à un certain moment à partir duquel la décroissance reprend son cours avec rapidité. Les phénomènes se présentent en effet, pour certaines étoiles, comme si une cause quelconque empêchait la lumière de s'élever librement à un deuxième ma-

ximum d'intensité. Quant à χ du Cygne, il y a très-probablement deux périodes de variabilité: une longue période formée de 100 périodes secondaires et une autre de 8 1/2 périodes.

Il est difficile de dire, même d'une manière générale, si les étoiles variables à courtes périodes présentent plus de régularité que les étoiles à lentes variations. Les déviations relatives à une période constante ne peuvent être raisonnablement présentées en nombres absolus; il faut les évaluer en parties de la période même. Commençons par les étoiles à longues périodes, telles que χ du Cygne, Mira de la Baleine et 30 de l'Hydre. Pour χ du Cygne, la période la plus probable est de 406j,0634, en suivant l'hypothèse d'une variation uniforme; les écarts vont alors à 39,4 jours. En faisant la part des erreurs d'observation, les écarts s'élèvent encore à 29 ou 30 jours, c'est-à-dire à 1/14 de la période entière. Pour Mira de la Baleine ([80]), une période constante de 331j,340 donne des écarts de 55j,5, même en laissant de côté l'observation de David Fabricius. Veut-on réduire ces écarts à 40 jours, afin de tenir compte des erreurs inévitables de l'observation? les erreurs iront encore à 1/8 de la période, c'est-à-dire au double, en proportion, des écarts relatifs à χ du Cigne. Enfin, pour 30 de l'Hydre, dont la période est de 495 jours, les écarts sont encore plus considérables; ils vont peut être à 1/5. C'est depuis 1840 seulement que les étoiles variables à périodes très courtes ont été observées d'une manière continue et avec toute l'exactitude requise. Le problème que nous agitons ici devient donc plus difficile, quand il s'agit de cette classe d'étoiles, où cependant les écarts semblent être réellement moins considérables. Pour η de l'Aigle, dont la période est de 7 jours 4 heures, ils ne sont que de 1/16 ou 1/17 de la période entière; dans β de la Lyre (période = 12j 21h), ils descendent à 1/27 ou même à 1/30. Mais ces recherches sont encore exposées à bien des incertitudes. On a observé de 1700 à 1800 périodes de β de de la Lyre, 279 de Mira, 145 seulement de χ du Cygne.

On demandera si les étoiles, qui ont procédé longtemps par périodes régulières dans leurs variations, peuvent cesser d'être variables; la réponse paraît devoir être négative. De même qu'il existe des étoiles dont les variations sont tantôt faibles, tantôt plus marquées, par exemple, la variable de l'Écu de Sobieski, de même il paraît y avoir des étoiles dont les variations sont par moments si faibles qu'elles échappent à nos moyens bornés d'investigation. On peut compter, parmi ces dernières, la variable de la Couronne boréale (nº 5236 du *Catalogue de l'association britannique*), que Pigott a découverte et observée quelque temps. Pendant l'hiver de 1795 à 1796, cette étoile était restée complètement invisible; plus tard, elle reparut; ses variations furent alors observées par Koch. En 1817, Harding et Westphal lui trouvaient une lumière presque constante; en 1824, Olbers put observer de nouveau ses changements d'éclat. Les variations ont cessé encore une fois, et cette nouvelle phase a été étudiée avec soin par Argelander, depuis le mois d'août 1843 jusqu'en septembre 1845. A la fin de septembre, l'étoile recommença à diminuer; en octobre, elle n'était plus visible dans un chercheur de comètes; elle reparut en février 1846, et atteignit sa grandeur ordinaire (la 6ᵉ gr.) vers le commencement de juin. Depuis cette époque, elle a conservé le même éclat, sauf de petites oscillations dont on ne peut être bien certain. La variable du Verseau appartient à cette classe mystérieuse d'étoiles variables; peut-être en est-il de même de l'étoile de Janson et de Képler (dans le Cygne, en 1600), dont nous avons déjà parlé, quand il était question des étoiles nouvelles.

LISTE DES ÉTOILES VARIABLES,

PAR FR. ARGELANDER.

Nos	NOMS DES ÉTOILES	DURÉE de la PÉRIODE jours	heur.	min.	ÉCLAT au MAXIMUM grandeur.	ÉCLAT au MINIMUM grand.	NOM DE L'AUTEUR et date DE LA DÉCOUVERTE	
1	ο Baleine.	331	20	—	4 à 2.1	0	Holwarda	1639
2	β Persée.	2	20	49	2.3	4	Montanari	1669
3	χ Cygne.	406	1	30	6.7 à 4	0	Gottfr. Kirch	1687
4	30 Hydre (Hev.).	495	—	—	5 à 4	0	Maraldi	1704
5	Lion R, 420 M.	312	18	—	5	0	Koch	1782
6	η Aigle.	7	4	14	3.4	5.4	E. Pigott	1784
7	β Lyre.	12	21	45	3.4	4.5	Goodricke	1784
8	δ Céphée.	5	8	49	4.3	5.4	Goodricke	1784
9	α Hercule.	66	8	—	3	3.4	W. Herschel	1795
10	Couronne R.	323	—	—	6	0	E. Pigott	1795
11	Écu R.	71	17	—	6.5 à 5.4	9 à 6	E. Pigott	1795
12	Vierge R.	145	21	—	7 à 6.7	0	Harding	1809
13	Verseau R.	388	13	—	9 à 6.7	0	Harding	1810
14	Serpent R.	359	—	—	6.7	0	Harding	1826
15	Serpent S.	367	5	—	8 à 7.8	0	Harding	1828
16	Écrevisse R.	380	—	—	7	0	Schwerd	1829
17	α Cassiopée.	79	3	—	2	3.2	Birt	1831
18	α Orion.	196	0	—	1	1.2	J. Herschel	1836
19	α Hydre.	55	—	—	2	2.3	J. Herschel	1837
20	ε Cocher.	?			3.4	4.5	Heis	1846
21	ζ Gémeaux.	10	3	35	4.3	5.4	Schmidt	1847
22	β Pégase.	40	23	—	2	2.3	Schmidt	1848
23	Pégase R.	350	—	—	8	0	Hind	1848
24	Écrevisse S.	?			7.8	0	Hind	1848

Remarques sur le tableau précédent.

Le 0 placé dans la colonne du minimum signifie que l'étoile est à cette époque, au-dessous de la 10e grandeur. Pour désigner d'une manière simple et commode à la fois les petites étoiles variables qui n'ont point encore reçu de nom ni de signe, je me suis permis de leur donner des lettres tirées du grand alphabet, les lettres grecques et les minuscules latines ayant été déjà épuisées en grande partie par Bayer.

Outre les variables inscrites dans le tableau, il y a encore presque autant d'étoiles que l'on soupçonne de variabilité, parce que divers observateurs leur ont assigné des grandeurs différentes. Mais comme ces estimations purement occasionnelles ne sauraient prétendre à une grande exactitude, et comme les astronomes ont chacun leur manière particulière d'apprécier les grandeurs, il m'a paru plus sûr de ne pas tenir compte de cette classe d'étoiles, tant qu'un même observateur n'en aura pas constaté les variations par une étude directe, faite à des époques différentes. Toutes les étoiles du tableau sont dans ce dernier cas; l'existence de leurs variations périodiques est certaine, même lorsque la période n'a pas pu être déterminée. Les périodes indiquées dans le tableau reposent, presque toutes, sur les recherches auxquelles j'ai soumis l'ensemble des anciennes observations et les observations encore inédites que j'ai faites pendant les dix dernières années. Les exceptions seront indiquées dans les notes suivantes, où chaque étoile est considérée isolément.

Les positions données dans ces notes sont exprimées en ascensions droites et en déclinaisons pour 1850. L'expression souvent employée de *degré* désigne des différences d'éclat encore sensibles, avec quelque certitude, soit à l'œil nu, soit à l'œil armé d'une lunette de Fraunhofer dont la longueur focale égale 65 centimètres, lorsqu'il s'agit d'étoiles invisibles à la vue simple. Pour les étoiles au-dessus de la 6e grandeur, un *degré* forme à peu près un dixième de la différence d'éclat entre deux ordres de grandeur consécutifs; mais pour les étoiles plus faibles, les intervalles des grandeurs ordinaires sont sensiblement plus petits.

(1) ο de la Baleine, AR. 32° 57′ Décl. — 3° 40′; nommée aussi Mira à cause des singulières variations de sa lumière, les premières qui aient été remarquées. La périodicité de cette étoile a été reconnue pendant la seconde moitié du XVII[e] siècle; Boulliaud portait à 333 jours la durée de sa période. On trouva en même temps que cette durée est tantôt plus longue, tantôt plus courte, et que l'étoile n'a pas toujours le même éclat, au moment de son maximum d'intensité. Ces remarques ont été complétement confirmées par les observations faites depuis cette époque, mais on n'a pu décider si l'étoile devient complètement invisible à son minimum d'éclat. On l'a vue quelquefois descendre à la 11[e] ou 12[e] grandeur; quelquefois aussi on n'a pas réussi à la voir avec des lunettes de 1[m] à 1[m],3. Ce qui est certain, c'est qu'elle reste longtemps au-dessous de la 10[e] grandeur. On n'a guère observé par delà cette limite; le plus souvent on s'est borné à attendre que l'étoile redevint visible à l'œil nu (de 6[e] gr.) pour recommencer les observations. A partir de la 6[e] grandeur, sa lumière augmente rapidement d'abord, ensuite avec plus de lenteur, puis d'une manière à peine sensible. Elle décroit ensuite, d'abord lentement, puis avec rapidité. En moyenne, l'éclat augmente à partir de la 6[e] grandeur, pendant 50 jours; il diminue jusqu'à la 6[e] grandeur, pendant 69 jours; ce qui donne 4 mois environ pour la durée totale de la visibilité à la simple vue. Mais cette durée est seulement une moyenne; la durée effective a été quelquefois de 5 mois; à d'autres époques, elle n'a point dépassé 3 mois. De même, les durées de l'accroissement et de la diminution de l'éclat présentent de grandes oscillations, et la première a été parfois plus longue que l'autre. C'est ce qui a eu lieu en 1840: l'étoile a mis 62 jours à atteindre son maximum d'éclat, et 49 jours à redescendre au point d'invisibilité pour l'œil nu. La plus courte période ascendante a été de 30 jours en 1679; la plus longue, de 67 jours, en 1709. La plus longue période descendante eut lieu en 1839, où elle fut de 91 jours; la plus courte, en 1660, où elle dura 52 jours. Quelquefois l'étoile change à peine pendant un mois, vers l'époque de son plus grand éclat; d'autres fois un intervalle de peu de jours suffit pour rendre ses variations sensibles. En 1678 et en 1847, on a remarqué un temps d'arrêt au milieu de la période descendante, ou du moins un temps pendant lequel la lumière a diminué d'une manière à peine perceptible.

L'éclat n'est pas toujours le même, avons-nous dit, à l'époque du maximum. En désignant par 0 l'éclat des plus faibles étoiles encore visibles à l'œil nu, et celui d'Aldébaran (1re gr.) par 50, on peut dire que Mira oscille entre 20 et 47 vers son maximum, c'est-à-dire entre la 4e et la 1-2e grandeur; son éclat moyen est représenté par 28, c'est-à-dire égal à celui de l'étoile γ de la Baleine. La durée de la période ne s'est pas montrée moins irrégulière. Elle est en moyenne de 331 jours 20 heures, mais ses oscillations vont à un mois entier; car la plus courte période comprise entre deux maxima consécutifs a été de 306 jours, et la plus longue de 367 jours. Ces irrégularités deviennent encore plus frappantes, quand on compare les époques des maxima observés avec les époques calculées dans l'hypothèse d'une période invariable. Les différences entre le calcul et l'observation vont alors à 50 jours, et même ces écarts conservent à peu près la même grandeur et le même sens plusieurs années de suite. C'est une preuve manifeste qu'il existe une perturbation à longue période dans les changements de lumière de cette étoile; seulement un calcul plus exact montre qu'une perturbation unique ne suffit pas, et qu'il faut en admettre plusieurs, engendrées sans doute par la même cause. Une de ces perturbations revient à chaque intervalle de 11 périodes élémentaires, la durée de la 2e comprend 88 de ces périodes; celle de la 3e, 176, et celle de la 4e, 264. C'est l'ensemble de ces inégalités périodiques que représente la formule de sinus rapportée dans la note 78, formule avec laquelle les observations des maxima s'accordent très-bien, quoiqu'elle laisse encore subsister des écarts dont les erreurs d'observation ne peuvent rendre compte.

(2) β de Persée, Algol; AR. 44° 36′, Décl. + 40° 22′. Geminiano Montanari a remarqué le premier, en 1667, la variabilité de cette étoile dont Maraldi s'est aussi occupé; mais c'est Goodricke qui a reconnu, en 1782, la périodicité de ses variations. La raison en est, sans doute, que cette étoile ne change pas d'éclat peu à peu, comme la plupart des étoiles variables, mais qu'elle reste constamment de 2-3e grandeur pendant 2 jours et 13 heures, tandis qu'elle emploie seulement 7 à 8 heures pour décroître et descendre à la 4e grandeur. Les changements d'éclat ne sont pas tout à fait réguliers; ils sont plus rapides à l'époque du minimum; aussi peut-on en déterminer l'instant, à 10 ou 15 minutes près. Il est encore bien digne de remarque

que cette étoile, après avoir commencé à croître en lumière pendant une heure environ, s'arrête et conserve la même clarté pendant l'heure suivante; elle reprend ensuite son mouvement ascendant d'une manière marquée. On avait regardé jusqu'ici la durée de la période comme absolument constante, et Wurm représentait bien les observations par une période de 2 jours 21 heures 48 minutes 58 secondes et demie. Mais des calculs plus exacts, basés sur un intervalle de temps deux fois plus grand que celui dont Wurm avait pu se servir, ont montré que la période se raccourcit de plus en plus. Elle était en 1784, de 2j 20h 48m 59s,4, et en 1842, de 2j 20h 48m 55s,2 seulement. Il résulte encore, avec vraisemblance, des observations les plus récentes, que cette diminution de la période est plus rapide aujourd'hui qu'autrefois, en sorte qu'il faudra ici, tôt ou tard, une formule de sinus pour représenter ces perturbations de la période principale. Au reste, la diminution actuelle de la période s'expliquerait, en supposant qu'Algol se rapproche de nous à raison de 371 myriamètres par an, ou, ce qui revient au même, qu'il s'éloigne de nous avec une vitesse décroissant dans le même rapport. Dans l'un et l'autre cas, la lumière nous parviendrait chaque année un peu plus tôt qu'elle ne le ferait dans l'hypothèse d'une position constante, et cette avance, d'environ 12 millièmes de seconde, suffirait pour rendre compte de la diminution observée. Si telle est l'explication véritable, une formule de sinus deviendra nécessaire dans quelque temps.

(3) χ du Cygne, AR. 296° 12', Décl. + 32° 32'. Cette étoile présente à peu près les mêmes irrégularités que Mira; les écarts des maxima que l'on a observés, comparés à ceux qui résultent du calcul fait dans l'hypothèse d'une période uniforme, vont à 40 jours; mais ils se réduisent considérablement, quand on introduit une perturbation de 8 1/2 périodes élémentaires et une autre de 100 périodes. A son maximum, l'étoile atteint l'éclat des étoiles faibles de 5e grandeur, c'est-à-dire un *degré* de plus que la 17e du Cygne. Les oscillations de l'éclat maximum sont aussi très-notables; elles varient de 13 degrés au-dessous à 10 degrés au-dessus de l'éclat moyen. Lorsque l'étoile avait son éclat maximum le plus faible, elle était totalement invisible à l'œil nu: en 1847, au contraire, on put la voir sans lunette, pendant 97 jours entiers. La durée moyenne de sa visibilité est de 52 jours, dont 20 appartiennent, en moyenne, à la phase ascendante, et 32 à la phase de diminution.

(4) 30 de l'Hydre d'Hevelius, AR. 200° 23.′ Décl. — 22° 30′. Cette étoile n'est visible que pendant peu de temps chaque année, à cause de sa position très-australe: tout ce qu'on peut en dire, c'est que sa période et son éclat maximum présentent de grandes irrégularités.

(5) R du Lion, ou 420 de Mayer; AR. 144° 52′, Décl. + 12° 7′. On la confond souvent avec des étoiles voisines (18 et 19 du Lion); aussi a-t-elle été fort peu observée. Elle l'a été assez, cependant, pour montrer que sa période n'est pas très-régulière. Son éclat maximum paraît varier aussi de quelques *degrés*.

(6) η de l'Aigle ou η d'Antinoüs; AR. 296° 12′, Décl. + 0° 37′. La période assez constante de cette étoile est de 7j 4h 13m 53s. Toutefois les observations décèlent de petites oscillations de 20 secondes qui se manifestent au bout d'un temps suffisamment long. Quant aux variations d'éclat, elles sont très-régulières; les écarts ne dépassent point les limites de ce qu'on peut imputer aux erreurs d'observation. A son minimum, elle est d'un degré au-dessous de ι de l'Aigle. Son éclat augmente d'abord lentement, puis avec rapidité, ensuite avec plus de lenteur, et 2 jours 9 heures après l'instant du minimum, elle atteint son plus grand éclat. Elle est alors près de 3 degrés au-dessus de β et 2 degrés au-dessous de δ de l'Aigle. A partir du maximum, la lumière ne décroît pas aussi régulièrement, car vers le moment où elle atteint l'éclat de β (1 jour 10 heures après le maximum), elle varie avec plus de lenteur que dans les heures précédentes ou suivantes.

(7) β de la Lyre, AR. 281° 8′, Décl. + 33° 11′: cette étoile est remarquable par ses deux maxima et ses deux minima. Après avoir été d'un tiers de degré au-dessous de ζ de la Lyre, à l'époque du plus faible éclat, elle met 3j 5h à atteindre son premier maximum où elle est de 3/4 de degré plus faible que γ de la Lyre. 3 jours et 3 heures après, elle arrive à son second minimum qui dépasse ζ de la Lyre de 5 degrés. Après un nouvel intervalle de 3j 2h, elle atteint, à son deuxième maximum, le même éclat qu'au premier; enfin elle met 3j 12h à revenir à son plus faible éclat. L'ensemble de ces phases comprend donc 12j 21h 46m 40s. Mais cette durée de la période ne peut compter que pour les années 1840-1844; antérieurement, elle était plus courte de 2 1/2 heures en 1784, de plus d'une heure en 1817 et 1818, et aujourd'hui elle paraît subir de nouveau une diminution. Il

n'y a donc pas à douter que la formule de sa période ne doive être aussi une fonction de sinus.

(8) δ de Céphée, AR. 333° 54', Décl. + 57° 39'. C'est de toutes les étoiles connues la plus régulière sous tous les rapports. Une période de 5j 8h 47m 39s,5 représente toutes les observations, depuis 1784 jusqu'à ce moment, avec la précision des observations elles-mêmes; les petites différences qui se présentent dans la marche des variations de lumière peuvent être attribuées aux erreurs ordinaires de l'observation. A son minimum, l'étoile est 3/4 de degré au-dessus de ε de Céphée; elle égale à son maximum, l'étoile ι de la même constellation. Pour passer du minimum au maximum, elle emploie 1j 15h, et plus du double de ce temps, c'est-à-dire 3j 18h, pour revenir au minimum. Mais dans cette dernière phase, elle reste 8h presque sans varier; pendant un jour entier ses changements sont très-peu notables.

(9) α d'Hercule, AR. 256° 57', Décl. + 14° 34'. Étoile double très-rouge, dont les variations sont très-irrégulières, quant à la période et quant à l'éclat. Souvent sa lumière reste invariable des mois entiers. A d'autres époques, son maximum dépasse son minimum de 3 degrés; aussi sa période est-elle très-incertaine. W. Herschel lui supposait une durée de 63 jours: je la portais moi-même à 95 jours, jusqu'à ce que la discussion de mes propres observations, continuées pendant 7 ans, m'eût conduit à la période consignée dans le tableau précédent. Heis croit pouvoir représenter les observations par une période de 184,9 jours comprenant deux maxima et deux minima.

(10) R de la Couronne, AR. 235° 36', Décl. + 28° 37'. Cette étoile n'est variable que d'une manière purement temporaire. La période a été calculée par Koch d'après ses propres observations, qui sont malheureusement perdues.

(11) R de l'Écu de Sobieski, AR. 279° 52', Décl. — 5° 51'. Les oscillations de l'éclat de cette étoile sont souvent restreintes à un petit nombre de degrés; mais aussi, en d'autres temps, elle descend de la 5e à la 9e grandeur. Elle a encore été trop peu observée jusqu'ici pour qu'on puisse décider si ces alternatives suivent ou non une marche régulière. De même la durée de la période présente de notables fluctuations.

(12) R de la Vierge, AR. 187° 43', Décl. + 7° 49'. La période et l'éclat maximum sont assez constants; il y a pourtant des

écarts trop considérables, à mon gré, pour pouvoir être attribués uniquement aux erreurs d'observation.

(13) R du Verseau, AR. 354° 11', Décl. — 16° 6'.

(14) R du Serpent, AR. 235° 57', Décl. + 15° 36'.

(15) S du Serpent, AR. 228° 40', Décl. + 14° 52'.

(16) R. de l'Écrevisse, AR. 122° 6', Décl. + 12° 9'.

Il n'y a rien de plus à dire, sur ces quatre étoiles, que ce que donne le tableau.

(17) α de Cassiopée, AR. 8° 0' Décl. + 55° 43'. Étoile très-difficile à observer; la différence entre le maximum et le minimum n'est que d'un petit nombre de degrés; d'ailleurs cette différence est aussi variable que la durée de la période. Ces difficultés expliquent le peu d'accord des résultats obtenus. La période indiquée dans le tableau représente d'une manière satisfaisante les observations de 1782 à 1849; elle me paraît être la plus vraisemblable.

(18) α d'Orion, AR. 86° 46' Décl. + 7° 22'. Encore une étoile dont la variation d'éclat n'est que de 4 degrés, du minimum au maximum. Elle augmente d'éclat pendant 91 1/2 jours; elle décroît pendant 104 1/2 jours, sur lesquels elle reste 50 jours sans changer (du 20e au 70e jour). Quelquefois ses variations sont encore plus faibles et à peine sensibles. Elle est très-rouge.

(19) α de l'Hydre, AR. 140° 3', Décl. — 8° 1'. C'est la plus difficile à observer, et sa période est encore tout à fait incertaine. Sir John Herschel lui donne de 29 à 30 jours.

(20) ε du Cocher, AR. 72° 48', Décl. + 43° 36'. Les changements d'éclat de cette étoile sont très-variables, ou bien il y a plusieurs maxima et minima pendant une période de quelques années. Il faut attendre bien des années encore avant de pouvoir trancher la question.

(21) ζ des Gémeaux, AR. 103° 48', Décl. + 20° 47'. Cette étoile s'est montrée jusqu'ici très-régulière dans ses changements d'éclat. A son minimum, elle tient le milieu entre ν et υ des Gémeaux; à son maximum, elle n'atteint pas tout à fait l'éclat de λ. La phase ascendante dure 4j 21h et la phase descendante 5j 6h.

(22) β de Pégase, AR. 344° 7', Décl. + 27° 16'. La période est assez bien déterminée; mais il est encore impossible de rien dire sur la marche de ses variations d'éclat.

(23) R de Pégase, AR. 344° 47', Décl. + 9° 43'.
(24) *s* de l'Écrevisse, AR. 128° 50', Décl. + 19° 34'.
Il n'y a encore rien à dire sur ces deux dernières étoiles.

A Bonn, août 1850.

FR. ARGELANDER.

Variations dont les périodes restent encore inconnues. — Quand il s'agit de soumettre à l'analyse scientifique des faits importants par le rôle qu'ils jouent dans le Cosmos, que ces faits appartiennent d'ailleurs au règne tellurique ou à la sphère sidérale, une réserve nous est imposée, c'est de ne pas chercher prématurément à relier entre eux des phénomènes dont les causes immédiates sont encore entourées d'obscurité. Aussi nous plaisons-nous à établir une ligne de démarcation entre les étoiles nouvelles qui ont complètement disparu (celle de 1572, dans Cassiopée) et les étoiles nouvelles qui sont restées au ciel (dans le Cygne, en 1600). Nous distinguerons encore les étoiles variables à périodes déterminées (Mira, Algol) de celles dont l'éclat change, sans qu'on ait pu découvrir la loi de leurs variations (η d'Argo). Il n'est pas invraisemblable, mais aussi il n'est nullement nécessaire, que ces quatre classes de phénomènes ([81]) aient même origine; peut-être dépendent-ils de la nature des surfaces, ou des photosphères de ces soleils éloignés.

Pour décrire les étoiles nouvelles, nous avons commencé par le phénomène le plus frappant de cet ordre, la subite apparition de l'étoile de Tycho; pour les mêmes raisons, nous présenterons ici, comme type des variations non périodiques de la lumière stellaire, celles d'une étoile remarquable, η d'Argo, dont les phases durent encore de nos jours. Cette étoile est située dans la grande et brillante constellation du Navire, « la joie du ciel austral. » Dès 1677, Halley, à son retour de l'île de Sainte-Hélène, émettait des doutes nombreux sur la constance d'éclat des étoiles du Navire Argo; il avait surtout en vue celles qui se trouvent sur le bouclier de la proue et sur le tillac (ἀσπιδίσκη et

κατάστρωμα), dont Ptolémée a indiqué les grandeurs (82). Mais l'incertitude des désignations anciennes, les nombreuses variantes des manuscrits de l'Almageste, et surtout la difficulté d'obtenir des évaluations exactes sur l'éclat des étoiles, ne permirent point à Halley de transformer ses soupçons en certitude. En 1677, Halley rangeait η d'Argo parmi les étoiles de 4e grandeur; en 1751, Lacaille la trouvait déjà de 2e grandeur. Plus tard, elle reprit son faible éclat primitif, puisque Burchell la vit de 4e grandeur, pendant son séjour dans le sud de l'Afrique (de 1811 à 1815). Depuis 1822 jusqu'en 1826, elle fut de 2e grandeur pour Fallows et Brisbane; Burchell, qui se trouvait en 1827 à San Paolo, au Brésil, la trouva de 1re grandeur et presque égale à α de la Croix. Un an plus tard, elle était revenue à la 2e grandeur. C'est à cette classe qu'elle appartenait, quand Burchell l'observait à Goyaz, le 29 février 1828; c'est sous cette grandeur que Johnson et Taylor l'inscrivirent dans leurs catalogues de 1829 à 1833; et quand Sir John Herschel vint observer au Cap de Bonne-Espérance, il la plaça constamment, de 1834 à 1837, entre la 2e et la 1re grandeur.

Mais, le 16 décembre 1837, pendant que cet illustre astronome s'apprêtait à mesurer l'intensité de la lumière émise par l'innombrable quantité de petites étoiles de 11e à 16e grandeur qui forment autour de η d'Argo une magnifique nébuleuse, son attention fut attirée par un phénomène étrange; η d'Argo, qu'il avait si souvent observée auparavant, avait augmenté d'éclat avec tant de rapidité, qu'elle était devenue égale à α du Centaure; elle surpassait d'ailleurs toutes les autres étoiles de 1re grandeur, sauf Canopus et Sirius. Cette fois, elle atteignit son maximum vers le 2 janvier 1838. Bientôt elle s'affaiblit; elle devint inférieure à Arcturus, tout en restant encore, vers le milieu d'avril 1838, plus brillante qu'Aldébaran. Elle continua à décroître jusqu'en mars 1843, sans tomber cependant au-dessous de la 1re grandeur; puis elle augmenta de nouveau, surtout en avril 1843, et avec une rapidité telle, que, d'après les observations de Mackay, à Calcutta, et

celles de Maclear, au Cap, η d'Argo surpassait Canopus et devint presque égale à Sirius ([83]). L'étoile a conservé cet éclat extraordinaire jusqu'au commencement de l'année précédente. Un observateur distingué, le lieutenant Gilliss, chef de l'expédition astronomique que les États-Unis ont envoyée au Chili, écrivait de Santiago, en févrièr 1850: « aujourd'hui η d'Argo, avec sa couleur d'un rouge jaunâtre, plus sombre que celle de Mars, se rapproche extrêmement de Canopus pour l'éclat; elle est plus brillante que la lumière réunie des deux composantes de α du Centaure ([84]). » Depuis l'apparition de 1604, dans le Serpentaire, aucun phénomène stellaire ne s'est produit avec tant d'intensité; aucun non plus n'a présenté une si longue durée, car celui-ci dure depuis 7 ans. Dans les 173 années (1677-1850) pendant lesquelles nous avons eu des renseignements plus ou moins suivis sur l'éclat de la belle étoile du Navire, ses variations de lumière nous ont offert 8 ou 9 alternatives d'affaiblissement et de recrudescence. Par un hasard heureux, où les astronomes ne manqueront pas de puiser un nouveau motif de persévérer dans des recherches si délicates, l'apparition de ces brillants phénomènes a coïncidé avec l'époque de la célèbre expédition de Sir John Herschel au Cap de Bonne-Espérance.

On a remarqué des variations analogues, dont la périodicité nous échappe également, dans d'autres étoiles isolées et dans les couples stellaires observés par Struve (*Stellarum compos. Mensuræ microm.*, p. LXXI-LXXIII). Les exemples dont nous nous contenterons ici sont basés sur les évaluations photométriques que le même astronome a faites à des époques différentes, et non sur l'ordre des lettres de l'Uranométrie de Bayer. Dans un court traité *de fide Uranometriæ Bayerianæ* (1842, p. 15), Argelander a prouvé, sans réplique, que Bayer ne s'est nullement astreint à désigner les plus belles étoiles par les premières lettres de l'alphabet, mais qu'il s'est laissé guider habituellement par la position des étoiles. Il leur assignait les lettres successives de l'alphabet, en suivant la figure de la

constellation depuis la tête jusqu'aux pieds. C'est pourtant la distribution des lettres dans l'Uranométrie de Bayer qui a fait croire si longtemps qu'un changement d'éclat avait eu lieu dans plusieurs belles étoiles, telles que α de l'Aigle, Castor et Alphard, ou α de l'Hydre.

Struve, en 1838, et Sir John Herschel ont vu la Chèvre augmenter d'éclat. Le dernier trouve actuellement la Chèvre un peu plus brillante que Véga; il la trouvait plus faible autrefois ([85]). Galle et Heis ont comparé récemment ces deux étoiles et partagent cette opinion. Heis trouve Véga plus faible de 5 à 6 *degrés;* c'est plus d'une demi-grandeur de différence.

Les variations de lumière des étoiles qui forment la Grande et la Petite Ourse méritent une attention particulière. « L'étoile η de la Grande Ourse, dit Sir John Herschel, est certainement aujourd'hui la plus brillante des 7 belles étoiles de cette constellation, tandis qu'en 1837, ε avait le premier rang. » Cette remarque m'a engagé à consulter M. Heis, qui observe avec tant de soin et d'ardeur les variations de la lumière stellaire. « D'après la moyenne de toutes les observations que j'ai faites à Aix-la-Chapelle, depuis 1842 jusqu'en 1850, écrit M. Heis, je trouve la série suivante: 1° ε de la Grande Ourse, ou Alioth; 2° α ou Dubhé; 3° η ou Benetnadj; 4° ζ ou Mizar; 5° β; 6° γ; 7° δ. Les trois étoiles ε, α et η sont si près d'être égales, que le moindre trouble dans l'atmosphère pourrait rendre l'ordre des grandeurs difficile à reconnaître; ζ est décidément inférieure aux trois précédentes. Les étoiles β et γ, toutes deux remarquablement plus faibles que ζ, sont presque égales entre elles; enfin δ, que les anciennes cartes font égale à β et γ, est au-dessous de ces étoiles de plus d'une grandeur. L'étoile ε est positivement variable. Quoique ε soit d'ordinaire plus brillante que α, je l'ai vue cependant, 5 fois en 3 ans, décidément plus faible que α. Je considère aussi β de la Grande Ourse comme variable, sans pouvoir en assigner la période. Sir John Herschel trouvait β de la Petite Ourse beaucoup plus brillante

que la Polaire, en 1840 et 1841; le contraire a été observé par lui en 1846. Il soupçonne une variabilité pour β ([86]). Depuis 1843, j'ai trouvé ordinairement la Polaire inférieure à β de la Petite Ourse, mais depuis octobre 1843 jusqu'en juillet 1849, la Polaire a été, d'après mes notes, 1,4 fois plus brillante que β. J'ai d'ailleurs eu de fréquentes occasions de m'assurer que la couleur rougeâtre de cette dernière n'est pas toujours constante; elle tire parfois plus ou moins sur le jaune; d'autres fois elle est d'un rouge tranché » ([87]). Cette laborieuse étude de l'éclat relatif des astres est condamnée à rester un peu incertaine, tant que l'estime pure et simple, opérée à l'œil nu, n'aura pas fait place à des procédés de mesure basés sur les récents progrès de l'optique ([88]). La possibilité de parvenir à un pareil résultat ne devrait pas être mise en doute par les astronomes et les physiciens.

Une grande analogie doit vraisemblablement exister, quant au mode de génération de la lumière, entre tous les astres brillant de leur propre éclat, et par suite entre le corps central de notre système planétaire et les soleils étrangers, c'est-à-dire les étoiles. Cette analogie a fait pressentir depuis longtemps qu'il existe aussi une liaison entre les variations, périodiques ou non, de la lumière stellaire ou solaire et l'histoire météorologique de notre planète ([89]). On comprend toute l'importance de ces phénomènes, quand on considère que les variations de la quantité de chaleur que notre planète reçoit du Soleil, dans le cours des siècles, ont dû régler le développement de la vie organique et sa distribution suivant les divers degrés de latitude. L'étoile variable du col de la Baleine (Mira Ceti) varie de la 2e à la 11e grandeur, et va même jusqu'à disparaître; η du Navire Argo oscille entre la 4e et la 1re grandeur; elle atteint même l'éclat de Canopus et presque celui de Sirius. Si notre Soleil a éprouvé des variations semblables, ou seulement une faible partie des changements d'intensité dont nous venons de donner le tableau (et pourquoi serait-il différent des autres soleils?), de pareilles alternatives d'af-

faiblissement et de recrudescence, dans l'émission de la lumière et de la chaleur, peuvent avoir eu les conséquences les plus graves, les plus formidables même, pour notre planète; elles suffiraient amplement à expliquer les anciennes révolutions du globe et les plus grands phénomènes géologiques. William Herschel et Laplace ont, les premiers, agité cette question. Si j'expose ici de tels aperçus, ce n'est pas que je prétende y trouver la solution complète du problème des variations de chaleur à la surface du globe. Non, la haute température primitive de notre planète a résulté de sa formation même et de la condensation progressive de sa matière; les couches profondes ont rayonné leur chaleur à travers les crevasses du sol et les failles restées béantes; le jeu des courants électriques, l'inégale distribution des mers et des continents peuvent avoir rendu, dans les temps primitifs, la distribution de la chaleur totalement indépendante de la latitude, c'est-à-dire de la position relative d'un corps central. Les considérations cosmiques ne doivent pas être envisagées sous une seule face; il faut se garder de les restreindre à de pures spéculations astrognostiques.

V.

MOUVEMENTS PROPRES DES ÉTOILES. — EXISTENCE PROBLÉMATIQUE D'ASTRES OBSCURS. — PARALLAXES, DISTANCES DE QUELQUES ÉTOILES. — DOUTES SUR L'EXISTENCE D'UN CORPS CENTRAL DANS L'UNIVERS STELLAIRE.

Dans les étoiles, ce n'est pas seulement la couleur ou l'éclat qui varie : en dépit de leur antique dénomination de *fixes*, elles changent de position dans l'espace absolu ; chaque étoile est isolément animée d'un perpétuel mouvement de progression. Où trouver, dans l'univers, un point absolument fixe ? et si on ose s'élever jusqu'à la conception d'un système général, comment démêler les conditions de stabilité au milieu de cette infinie variété de mouvements et de vitesses ? De toutes les étoiles brillantes qu'ont observées les anciens, pas une n'occupe aujourd'hui la même place au firmament. J'ai dit ailleurs qu'Arcturus, μ de Cassiopée et la 61e du Cygne s'étaient déplacées, depuis 20 siècles, de quantités angulairement équivalentes à 2 1/2, 3 1/2 et 6 fois le diamètre du disque de la Lune. Une autre étoile, dont l'éclat atteint presque l'extrême limite de la visibilité à l'œil nu, la 1830e du catalogue de Groombridge (6-7e ou 7e gr.) marche, avec encore plus de vitesse, droit sur l'amas d'étoiles de 5e et de 6e grandeur qui forme la Chevelure de Bérénice. Si cette étoile conserve pendant 71 siècles la vitesse et la direction ac-

tuelle de son mouvement, elle quittera la Grande Ourse, décrira un arc égal à près de 27 fois le diamètre de la Lune, et viendra se projeter juste au milieu de l'amas si clairsemé de la Chevelure. Dans le même laps de temps, vingt étoiles se seront déplacées de plus de deux degrés ([90]). Or comme les mouvements propres, déjà connus et mesurés, varient de 0",05 à 7",7, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 154, il est évident que les distances mutuelles des étoiles doivent s'altérer à la longue, et que la figure actuelle des constellations ne peut toujours durer. La Croix du Sud, par exemple, ne conservera pas toujours sa forme caractéristique, car ses quatre étoiles marchent en sens différent, et avec des vitesses inégales. On ne saurait calculer aujourd'hui combien de myriades d'années doivent s'écouler jusqu'à son entière dislocation; qu'importe? ni pour l'espace, ni pour le temps il n'existe de termes absolus de grandeur ou de petitesse.

Veut-on embrasser, d'une manière générale, les changements qui s'opèrent au ciel et qui doivent imprimer, dans le cours des siècles, une autre physionomie à l'aspect du firmament? Alors il faut procéder par énumération et distinguer parmi les causes qui président à ces variations: 1° la précession des équinoxes, dont l'effet est de faire monter de nouvelles étoiles sur l'horizon et d'en rendre d'autres pour longtemps invisibles; 2° le changement d'éclat, périodique ou non périodique, d'un grand nombre d'étoiles; 3° l'apparition subite d'étoiles *nouvelles* dont plusieurs sont restées au ciel; 4° la révolution des étoiles binaires autour de leur centre de gravité commun. Au milieu de ces étoiles prétendues fixes, qui changent à la fois d'éclat, de couleur et de position, nous pouvons suivre les mouvements bien autrement rapides des 20 planètes principales de notre monde solaire et de leur 20 satellites (le nombre des astres secondaires de notre système est actuellement de quarante; à l'époque de Copernic et de Tycho, le restaurateur de l'astronomie pratique, on n'en connaissait que sept). On pourrait encore ranger parmi les

corps planétaires près de 200 comètes calculées, dont 5 sont à courtes périodes. Celles-ci doivent être nommées comètes *intérieures*, puisque leurs trajectoires sont comprises dans les orbites des planètes. Lorsque ces astres deviennent visibles à l'œil nu, pendant la durée presque toujours très-courte de leurs apparitions, ils contribuent comme les planètes proprement dites, et comme les étoiles nouvelles qui apparaissent subitement avec un vif éclat, à augmenter l'attrait du tableau déjà si brillant, j'ai presque dit si pittoresque, de la voûte étoilée.

L'étude des mouvements propres des étoiles se rattache d'une manière intime, dans l'histoire des sciences astronomiques, aux progrès des instruments et des méthodes d'observation. Cette étude ne pouvait d'ailleurs être tentée avec fruit, que depuis l'époque où l'on appliqua les lunettes aux instruments destinés à mesurer les angles : pas décisif, qu'il fallait franchir, avant de pouvoir faire succéder la précision d'une seconde, ou même d'une fraction de seconde d'arc, à la précision d'une minute, qu'au prix des plus grands efforts, Tycho avait su, le premier, donner à ses observations. Sans cet immense progrès, nous n'aurions, aujourd'hui encore, qu'un moyen de trancher la question des mouvements propres : ce serait de comparer entre elles des observations séparées par une longue série de siècles. Telle fut, en effet, la marche suivie par Halley en 1717. Il rapproche les positions modernes des positions du catalogue d'Hipparque, et par les différences qu'il trouva de cette manière, il se crut fondé à attribuer des mouvements propres à trois étoiles principales, Sirius, Arcturus et Aldébaran. L'intervalle de temps compris entre ces observations était de 1844 ans [91]. Mais, plus tard, la précision des travaux de Rœmer et la haute idée qu'on s'était faite de la valeur des ascensions droites conservées dans le *Triduum* de l'astronome danois déterminèrent successivement Tobie Mayer en 1756, Maskelyne en 1770, et Piazzi en 1800, à se contenter du faible intervalle compris entre leur époque et celle de Rœmer, et à comparer leurs observations aux

siennes [92]. C'est ainsi que le phénomène des mouvements propres des étoiles a pu être reconnu, dans sa généralité, dès le milieu du dernier siècle. Mais les premières déterminations numériquement exactes datent seulement de 1783 et sont dues à W. Herschel, qui prit pour base les observations de Flamsteed [93]; elles sont dues surtout aux admirables travaux de Bessel et d'Argelander, qui ont comparé leurs propres catalogues avec les positions observées par Bradley, vers 1755.

Cette découverte des mouvements propres des étoiles est de la plus haute importance pour l'astronomie physique; elle a fait connaître le mouvement qui emporte notre propre système solaire à travers les espaces célestes, et même la direction dans laquelle cette translation s'accomplit. Jamais nous n'aurions rien su d'un tel phénomène, si le mouvement progressif des étoiles avait échappé à nos mesures par sa petitesse même. Il y a plus: les efforts inouïs qui ont été tentés pour déterminer ce mouvement en grandeur et en direction, pour mesurer la *parallaxe* des étoiles ou leurs distances, ont eu cette conséquence immédiate de porter l'art d'observer au plus haut degré de perfection et de l'y maintenir, surtout depuis 1830, soit par les progrès incessamment stimulés des appareils micrométriques, soit par l'emploi de plus en plus intelligent des grands cercles méridiens, des grands héliomètres et des grandes lunettes montées parallactiquement.

Nous avons vu, au début de ce chapitre, que les mouvements propres des étoiles varient, de l'une à l'autre, depuis 1/20 de seconde jusqu'à près de 8″. Mais ce ne sont point les étoiles les plus brillantes qui possèdent les plus forts mouvements; ce sont des étoiles de 5e, de 6e et même de 7e grandeur [94]. Voici les plus remarquables sous ce rapport: Arcturus, 1re gr., mouvement propre — 2″,25; α du Centaure, de 1re gr. 3″,58 [95]; μ de Cassiopée, 6e gr. 3″,74; l'étoile double δ de l'Éridan, 5-4e gr. 4″08; l'étoile double 61 du Cygne, 5-6e gr. 5″,123 (son mouvement a été reconnu par Bessel, en 1812, sur les observations de

Bradley, comparées avec celles de Piazzi); une étoile située sur la limite qui sépare les Chiens de Chasse de la Grande Ourse ([96]), et portant le n° 1830 dans le Catalogue des étoiles circumpolaires de Groombridge, 7e gr. 6″,974, d'après Argelander; ε de l'Indien 7″,74, d'après d'Arrest ([97]); 2151 de la Poupe du Navire, 6e gr. 7″,871. Opposons à ces résultats exceptionnels une donnée plus générale: en prenant la moyenne arithmétique des mouvements propres stellaires, pour toutes les régions du ciel où ces mouvements sont actuellement bien constatés, Mædler n'a trouvé que 0″,102 ([98]).

Par suite de ses recherches sur « la variabilité des mouvements propres de Sirius et de Procyon, » Bessel, le plus grand astronome de notre époque, est arrivé, en 1844, à des conséquences bien remarquables. Il était convaincu, peu de temps avant la douloureuse maladie qui a causé sa mort, « que les étoiles dont les mouvements propres présentent des variations sensibles, appartiennent à des systèmes qui occupent des espaces assez faibles relativement aux énormes distances mutuelles des étoiles. » La croyance de Bessel à l'existence de couples stellaires où l'un des astres composants serait privé de lumière était si ferme, comme le prouverait au besoin sa longue correspondance avec moi, qu'elle réussit à éveiller l'attention universelle, indépendamment de l'intérêt qui s'attache naturellement à toute conception capable d'élargir le cercle de nos connaissances sur l'univers sidéral. « Le corps attirant, dit le célèbre observateur, doit être ou très-près de l'étoile dont le mouvement propre présente des variations sensibles, ou très-près de notre propre Soleil. Or, comme la présence d'un corps attirant, doué d'une masse considérable et placé à très-petite distance du Soleil, n'est nullement accusée par les mouvements de notre système planétaire, on se trouve ramené à l'autre alternative; il faut admettre que le corps attirant est placé très-près de l'étoile elle-même. C'est là la seule explication admissible des variations que le mouvement propre de Sirius a subies dans le cours d'un siè-

cle ([99]). » Bessel m'écrivait, en juillet 1844 : « .... Je n'en persiste pas moins à croire que Sirius et Procyon sont de véritables étoiles doubles, composées chacune d'une étoile visible et d'une étoile invisible. » Et comme j'avais exprimé, en plaisantant, quelques scrupules au sujet de ce *monde fantastique* que l'on allait peupler d'astres obscurs, il ajoutait : « Il n'y a aucune raison de considérer la faculté d'émettre la lumière comme une propriété essentielle des corps. De ce que des étoiles sans nombre sont visibles, il ne résulte évidemment aucune preuve contre l'existence d'étoiles invisibles, également innombrables. La difficulté principale, celle d'expliquer physiquement la variabilité d'un mouvement propre, sera levée d'une manière satisfaisante, en supposant qu'il existe des astres obscurs. On ne peut rien objecter à cette simple hypothèse : des variations de vitesse ne peuvent résulter que de l'action de certaines forces, et ces forces doivent agir d'après les lois de Newton. »

Un an après la mort de Bessel, Fuss entreprit, sur l'invitation de Struve, de rechercher, de son côté, la cause des anomalies présentées par Sirius et Procyon. Il employa dans ce but de nouvelles observations faites à Poulkova, à l'aide de la lunette méridienne d'Ertel, et compara les résultats ainsi obtenus avec d'anciennes observations convenablement réduites. La conclusion de Struve et de Fuss est contraire à la pensée de Bessel ([100]). Mais un grand travail que Péters vient de terminer à Kœnigsberg, et des recherches analogues entreprises par Schubert, calculateur du *Nautical Almanach* des États-Unis, ont donné gain de cause à cette hypothèse.

La croyance aux étoiles dépourvues de lumière s'était déjà répandue dans l'antiquité grecque, et surtout dans les premiers temps du christianisme. On admettait « qu'au milieu des étoiles brillantes, dont les vapeurs alimentent la combustion, se meuvent encore d'autres corps de nature terrestre, qui restent invisibles pour nous ([1]). » Plus tard, l'extinction complète des étoiles nouvelles, surtout de celles que Tycho et Képler observèrent avec tant de soin dans

Cassiopée et le Serpentaire, parut devoir donner une base plus assurée à cette croyance. Comme on pensait, dès cette époque, que la première étoile avait déjà paru deux fois, à 300 ans de distance, l'idée d'un anéantissement réel, d'une destruction complète ne pouvait se présenter à l'esprit. L'immortel auteur de la *Mécanique Céleste* croyait aussi à l'existence de masses non lumineuses dans l'univers; il basait sa conjecture sur les apparitions de 1572 et de 1604. « Ces astres devenus invisibles, après avoir surpassé l'éclat de Jupiter même, n'ont point changé de place pendant leur apparition (ils ont seulement cessé d'émettre de la lumière). Il existe donc, dans l'espace céleste, des corps opaques aussi considérables et peut-être en aussi grand nombre que les étoiles ([2]). » De même Mædler dit, dans ses *Recherches sur le Système sidéral* ([3]): « Un corps obscur pourrait être corps central; il pourrait être entouré de corps obscurs, de même que le Soleil n'est entouré immédiatement que de planètes dépourvues de toute lumière propre. Les mouvements de Sirius et de Procyon, signalés par Bessel, conduisent d'ailleurs nécessairement (?) à admettre des cas où certains astres brillants seraient de simples satellites, subordonnés à des masses obscures. » Quelques partisans de la théorie de l'émission admettent que de telles masses peuvent rayonner de la lumière, tout en restant invisibles pour nous; il suffit que leurs dimensions ou leurs masses soient telles, que les atomes de lumière qu'ils émettent soient retenus ou ramenés vers le centre par la force d'attraction de la masse, et cela, à partir d'une certaine limite que les molécules lumineuses ne sauraient dépasser ([4]). S'il existe, comme on peut le croire, des corps obscurs ou invisibles dans l'univers, des corps où la lumière ne se développe point, toujours est-il qu'ils ne sauraient se trouver près de notre système de planètes et de comètes, à moins que leur masse ne soit extrêmement faible, sans quoi leur présence se serait déjà trahie par des perturbations sensibles.

La recherche des mouvements stellaires, qu'ils soient réels ou seulement apparents et produits par le simple dé-

placement de l'observateur ; la mesure de la distance des étoiles par celle de leurs parallaxes ; la détermination du sens et de la vitesse du mouvement de translation de notre système planétaire, sont trois importants problèmes, intimement liés par leur nature même et par les moyens que l'on peut employer pour obtenir leur solution plus ou moins complète. Nul progrès dans les méthodes, nul perfectionnement dans les appareils de mesure, n'ont été réalisés en vue d'attaquer un de ces difficiles problèmes, sans produire aussitôt, pour la solution des deux autres, d'inestimables résultats. Je commencerai de préférence par la question des parallaxes ou des distances de certaines étoiles choisies, afin de compléter l'exposition des notions acquises sur les étoiles prises isolément.

Galilée proposait, dès le commencement du xviie siècle, de « mesurer les distances, sans doute fort inégales, qui séparent les étoiles de notre système solaire. » Il avait même pressenti, avec une admirable sagacité, qu'on trouverait le meilleur moyen de déterminer la parallaxe, non dans la mesure des distances angulaires au pôle ou au zénith, mais « dans la comparaison faite avec soin des positions respectives de deux étoiles très-voisines. » C'était, en termes généraux, l'indication formelle des méthodes micrométriques qui furent appliquées plus tard par W. Herschel en 1781, puis par Struve et par Bessel. « Perchè io non credo, dit Galilée [5] dans sa *Giornata terza*, che tutte le stelle siano sparse in una sferica superficie *egualmente distante da un centro*, ma stimo che le loro lontananze da noi siano talmente varie, che alcune ve ne possano esser 2 e 3 volte più remote di alcune altre ; talchè quando si trovasse col Telescopio *qualche picciolissima stella vicinissima ad alcuna delle maggiori*, e che però quella fosse altissima, *potrebbe accadere, che qualche sensibil mutazione succedesse tra di loro.* » Le système de Copernic posait en effet ce problème ; en l'adoptant, on se trouvait entraîné à rechercher dans les changements de position des étoiles la démonstration du mouvement annuel de la Terre autour du

Soleil. Aussi lorsque Képler eut prouvé, par les observations de Tycho, que les positions apparentes des étoiles ne manifestaient aucune trace sensible de déplacement parallactique, du moins si l'on s'en tient à la précision d'une minute d'arc (tel était le degré d'exactitude que Tycho lui-même attribuait à ses mesures de distance), les coperniciens durent conclure que le diamètre de l'orbite terrestre, malgré ses 306 millions de kilomètres, est une base géométrique beaucoup trop faible, relativement à l'énorme distance des étoiles fixes.

L'espoir d'arriver jamais à déterminer ces distances devait donc uniquement reposer sur les progrès futurs des appareils optiques et des instruments de mesure, c'est-à-dire sur la possibilité d'évaluer avec précision de très-petits angles. Aussi longtemps qu'on ne put répondre de cette précision qu'à une minute près, l'absence de parallaxe sensible prouvait seulement que la distance des étoiles fixes surpasse 3438 rayons de l'orbite terrestre, c'est-à-dire 3438 fois la distance de la Terre au Soleil (6). A mesure que l'exactitude des observations a été en croissant, cette limite s'est élevée dans le même rapport. Les observations de Bradley, exactes à 1″ près, rejetaient les étoiles les plus proches à 206265 fois la distance de la Terre au Soleil. Depuis l'époque brillante où Fraunhofer construisit ses admirables instruments, la précision des mesures a été portée à 0″,1 ; le rayon de l'orbite terrestre n'est plus insuffisant que pour des étoiles dont la distance surpasserait 2062648 fois la longueur de cette base géométrique.

L'ingénieux appareil zénithal construit, en 1669, par Robert Hooke, contemporain de Newton, ne put conduire au but proposé. Picard, Horrebow (le calculateur des seules observations de Rœmer qui aient été sauvées), et Flamsteed croyaient avoir trouvé des parallaxes de plusieurs secondes, parce qu'ils confondaient certains déplacements apparents des étoiles avec l'effet parallactique du mouvement annuel. John Michell, au contraire (*Philos. Trans.*, 1767, t. LVII, p. 234-264), attribuait aux étoiles les plus

proches une parallaxe de moins de 0",02, « qu'on ne pourrait reconnaître à moins d'employer un grossissement de 12000 fois. » L'opinion très-répandue que la supériorité d'éclat d'une étoile est un indice assuré de proximité, engagea Calandrelli et le célèbre Piazzi (1805) dans une série de recherches peu heureuses sur les parallaxes de Véga, d'Aldébaran, de Sirius et de Procyon. Il faut en dire autant des recherches de Brinkley 1815): Pond d'abord et ensuite Airy les ont victorieusement combattues. Les premières notions satisfaisantes sur les parallaxes ont été obtenues par la voie des mesures micrométriques ; mais elles ne commencèrent à se produire qu'à dater de 1832.

Dans un important mémoire sur la distance des étoiles (7), Péters évalue à 33 le nombre des parallaxes déjà déterminées. Nous n'en citerons que 9 ; ce sont celles qui méritent le plus de confiance, encore ne la méritent-elles pas toutes au même degré. Nous suivrons d'ailleurs l'ordre chronologique.

L'étoile devenue si célèbre par les travaux de Bessel, la 61e du Cygne, doit avoir ici le premier rang. Dès 1812, l'astronome de Kœnigsberg avait découvert le mouvement propre considérable de cette étoile double, dont les composantes sont au-dessous de la 6e grandeur ; mais ce ne fut qu'en 1838 qu'il en détermina la parallaxe à l'aide de son héliomètre. Mes amis Arago et Mathieu avaient observé la distance zénithale de la 61e du Cygne, depuis le mois d'août 1812 jusqu'au mois de novembre de l'année suivante, afin d'en mesurer la parallaxe absolue. Ils tirèrent de leurs observations la conséquence très-juste que la parallaxe de cette étoile est au-dessous d'une demi-seconde (8). En 1815 et en 1816, Bessel n'avait encore pu obtenir aucun résultat admissible (ce sont ses propres termes) (9) ; mais les observations instituées à l'aide du grand héliomètre de Fraunhofer, depuis le mois d'août 1837 jusqu'en octobre 1838, lui donnèrent enfin une parallaxe de 0",3483, c'est-à-dire une distance égale à 592200 fois celle de la Terre au Soleil. La lumière emploie 9 ans et 1/4 à parcourir cet espace. Les observations faites en 1842 par Pé-

ters ont confirmé ce résultat, puisqu'elles ont donné 0″,3490. Le même astronome a modifié plus tard le résultat de Bessel, en y introduisant une petite correction relative aux variations de température ; il a trouvé ainsi 0″,3744 [10].

La parallaxe de la plus belle étoile double du ciel austral, α du Centaure, a été déterminée, en 1832, par les observations de Henderson au Cap de Bonne-Espérance, et par celles de Maclear en 1839. Le résultat est 0″,9128 [11]. C'est donc l'étoile la plus voisine de nous, parmi celles dont on a mesuré la distance ; elle est trois fois plus rapprochée que la 61ᵉ du Cygne.

W. Struve s'est longtemps occupé de la parallaxe de α de la Lyre. Ses premières observations datent de 1836 ; elles donnaient un résultat compris entre 0″,07 et 0″,18 [12]. Plus tard il obtint, pour valeur définitive, le nombre 0″,2613, qui correspond à 771400 rayons de l'orbite terrestre, distance parcourue en 12 ans par la lumière [13]. Péters a trouvé seulement 0″,103. Ainsi la plus brillante étoile du ciel boréal serait encore plus éloignée qu'une petite étoile de 6ᵉ grandeur, la 61ᵉ du Cygne, que l'œil distingue avec quelque peine sur la voûte céleste.

La parallaxe de l'étoile polaire a été déduite, par Péters, d'observations continuées pendant vingt ans à Dorpat, de 1818 à 1838. Péters a trouvé 0″,106, résultat d'autant plus satisfaisant que les observations dont il procède assignent, en même temps, à la constante de l'aberration une valeur de 20″,455, presqu'identique à celle de W. Struve [14].

L'étoile 1830 du catalogue de Groombridge, à laquelle Argelander a reconnu le plus fort mouvement propre de tout le ciel boréal, a pour parallaxe 0″,226 d'après une série de 48 distances zénithales très-exactes que Péters a observées à Poulkova en 1842 et 1843. Faye avait cru devoir assigner à cette étoile une parallaxe 5 fois plus forte (1″,08), supérieure par conséquent à celle de α du Centaure. Afin de lever les doutes qui pouvaient rester encore sur la distance de la 1830ᵉ de Groombridge, Otto Struve entreprit d'en déterminer la parallaxe, au moyen du grand

équatorial de Poulkova. Ses recherches amenèrent un résultat inattendu; il fut conduit, par la discussion d'une des plus belles séries d'observations qui aient jamais été faites, à affirmer que la parallaxe de cette étoile devait être au-dessous d'un dixième de seconde. Bessel avait résolu, en 1842, d'appliquer à cette étoile la méthode et l'instrument qui avaient si bien réussi pour la 61ᵉ du Cygne. Les observations faites par Schlüter, et calculées par Wichmann, à Kœnigsberg, ont donné une parallaxe intermédiaire entre celles de Péters et de O. Struve. Ces trois mesures s'accordent donc à établir que la parallaxe de la 1830ᵉ de Groombridge ne saurait dépasser une assez petite fraction de la seconde d'arc (15).

ÉTOILES	PARALLAXE	ERREUR probable	NOMS DES OBSERVATEURS
α du Centaure.	0",913	0",070	Henderson et Maclear.
61ᵉ du Cygne.	0 ,3744	0 ,020	Bessel.
Sirius.	0 ,230	»	Henderson.
1830 Groombridge.	0 ,226	0 ,141	Péters.
»	0 ,1825	0 ,0185	Schlüter et Wichmann.
»	0 ,034	0 ,029	Otto Struve.
ε de la Grande Ourse.	0 ,133	0 ,106	Péters.
Arcturus.	0 ,127	0 ,073	Péters.
α de la Lyre.	0 ,207	0 ,038	Struve et Péters.
La Polaire.	0 ,106	0 ,012	Péters.
La Chèvre.	0 ,046	0 ,200	Péters.

En général, les résultats obtenus jusqu'ici n'établissent nullement que les étoiles les plus brillantes soient aussi les plus proches. Si la parallaxe de α du Centaure est la plus grande de toutes, on voit en même temps que celles de α de la Lyre, d'Arcturus et de la Chèvre surtout sont bien inférieures à la parallaxe d'une étoile de 6ᵉ grandeur, la 61ᵉ du Cygne. Il en est de même des mouvements propres. Après la 2151ᵉ de la Poupe et ε de l'Indien, les étoiles douées du mouvement le plus rapide sont la 61ᵉ du Cygne

(5",123 par an) et le n° 1830 de Groombridge, appelé aussi, en France, étoile d'Argelander 6",974 par an. Ces étoiles sont 3 à 4 fois plus éloignées que α du Centaure dont le mouvement propre ne dépasse point 3",58. Le volume, la masse, l'éclat, le mouvement propre et la distance ont sans doute entre eux des relations fort complexes ([16]), et s'il est à présumer que les étoiles les plus brillantes sont aussi, en thèse générale, les plus rapprochées de nous, il peut y avoir également de petites étoiles très-éloignées, dont la photosphère ou la surface soit capable d'émettre une lumière très-vive. Les étoiles classées dans le 1er ordre de grandeur, à cause de leur éclat, pourraient donc être situées plus loin que des étoiles de 4e ou même de 6e grandeur. Si nous quittons l'immense couche stellaire dont notre système fait partie, pour descendre, degré par degré, jusqu'à notre monde planétaire ou plus bas encore, jusqu'aux mondes inférieurs de Saturne et de Jupiter, nous voyons constamment un corps central entouré de masses subordonnées, dont la grandeur et l'éclat ne paraissent guère dépendre des distances. Rien ne saurait donner autant d'attrait à l'étude encore si peu avancée des distances stellaires que la relation étroite qui rattache nécessairement la connaissance des parallaxes à celle de la structure générale de l'univers.

Le génie humain a su tirer parti, pour ce genre de recherches, de la propagation successive de la lumière, et y trouver une ressource nouvelle, bien différente des moyens dont j'ai parlé plus haut. Cette ingénieuse conception mérite assurément de trouver place ici. Savary, qui a été sitôt ravi aux sciences, a montré comment certains effets de l'aberration, particuliers aux étoiles doubles, pourraient servir à déterminer leurs parallaxes. Si le plan de l'orbite décrite par le satellite autour de l'étoile centrale n'est point perpendiculaire au rayon visuel dirigé de la Terre vers l'étoile, si ce plan se trouve placé à peu près dans la direction du rayon visuel, le satellite paraîtra décrire une orbite presque rectiligne. Or son orbite réelle peut-être alors idéalement décomposée en deux parties, dans le sens du

rayon visuel: l'une, où le satellite se rapproche constamment de la Terre; l'autre, où il s'en éloigne constamment. Dans le premier cas, l'espace que la lumière doit parcourir pour arriver jusqu'à nous va en diminuant; cet espace va en croissant, dans le second cas. Il en résulte que le satellite emploiera des temps différents, non pas en réalité mais en apparence, à décrire ces deux moitiés de son orbite, que je supposerai circulaire, pour plus de simplicité. Si donc la grandeur de cette orbite est telle que la lumière ait besoin de plusieurs jours ou de plusieurs semaines pour la traverser, la demi-différence des durées apparentes des deux demi-révolutions donnera la mesure du temps que la lumière emploie à parcourir l'étendue de l'orbite, dans le sens de notre rayon visuel; tandis que la somme de ces durées apparentes indiquera la durée réelle de la révolution entière. Or, on connaît la vitesse absolue de la lumière; elle parcourt 2663 millions de myriamètres en 24 heures. Il s'ensuit qu'une des dimensions absolues de l'orbite peut être calculée en myriamètres; après quoi la simple détermination micrométrique de l'angle sous lequel cette ligne est vue par l'observateur fournit immédiatement la parallaxe ou la distance de l'étoile principale ([17]).

De même que la détermination des parallaxes nous enseigne les distances mutuelles des étoiles et leur vrai lien dans l'univers; de même l'étude des mouvements propres, en grandeur et en direction, peut nous conduire à la solution de deux nouveaux problèmes, savoir: le mouvement de translation du système solaire dans l'espace ([18]), et la position du centre de gravité de l'univers sidéral tout entier. Hâtons-nous de dire qu'en pareille matière toute notion irréductible à de simples relations de nombres est, par cela même, impropre à manifester, avec la clarté nécessaire, la connexion des causes et des effets. Des deux problèmes dont il vient d'être parlé, le premier est donc le seul qui n'offre point le caractère d'une indétermination absolue. On peut citer, comme preuve à l'appui, les excellentes recherches d'Argelander. Quant au second problème,

relatif à la structure même de l'univers, l'esprit ne saurait s'élever à la conception nette et claire du jeu des forces innombrables qu'il devrait comprendre. La solution manque d'ailleurs, d'après l'aveu même de Mædler qui a fait tant d'efforts ingénieux pour l'obtenir, de l'évidence indispensable à toute démonstration réellement scientifique ([19]).

Lorsqu'on a tenu un compte exact des effets dus à la précession des équinoxes, à la nutation de l'axe terrestre, à l'aberration de la lumière et aux changements parallactiques, engendrés par le mouvement annuel de la Terre autour du Soleil, les mouvements apparents des étoiles contiennent encore, outre les déplacements qui leur appartiennent en réalité, une trace quelconque du mouvement de translation générale du système solaire. Dans son beau Mémoire sur la nutation (1748), Bradley a entrevu, le premier, le mouvement propre du Soleil; il a même indiqué la meilleure marche à suivre pour contrôler cette hypothèse ([20]). « Si l'on vient à reconnaître, dit Bradley, *que notre système planétaire change de place dans l'espace absolu,* on devra pouvoir observer, dans la suite des temps, une variation apparente dans les distances angulaires des étoiles; et comme les étoiles voisines en seront affectées plus que les étoiles éloignées, il résulte de là que les positions de ces deux classes d'étoiles paraîtront changer, les unes relativement aux autres, quoiqu'elles soient restées immobiles en réalité. Si, au contraire, notre soleil est en repos et que ce soient les étoiles qui se meuvent, alors leurs positions apparentes changeront encore; ces variations seront d'autant plus sensibles, que les étoiles se trouveront plus près de la Terre et plus favorablement placées par rapport à nous. Les changements de position des étoiles peuvent, d'ailleurs, dépendre d'un si grand nombre de causes, qu'il faudra peut-être attendre bien des siècles avant d'en pouvoir reconnaître les lois. »

Depuis Bradley, Tobie Mayer, Lambert et Lalande ont discuté, dans leurs écrits, tantôt la possibilité, tantôt la vraisemblance du mouvement de translation du système so-

laire. William Herschel est le premier qui ait tenté, dans ses Mémoires de 1783, 1805 et 1806, d'établir cette conjecture sur des faits observés. Il trouva (ce qui a été confirmé depuis par un grand nombre de travaux plus exacts) que notre système solaire se dirige vers un point situé dans la constellation d'Hercule, par 260° 44′ d'ascension droite et 26° 16′ de déclinaison boréale (pour 1800). En comparant les positions qu'un grand nombre d'étoiles ont occupées dans le ciel, à diverses époques, Argelander a trouvé, pour la position de ce point:

en 1800,	AR. 257° 54′,1	Décl. + 28° 49′,2,
et pour 1850,	258 23,5	+ 28 45,6;

Otto Struve a déduit de 392 étoiles:

en 1800,	AR. 261° 26′,9	Décl. + 37° 35′,5,
et pour 1850,	261 52,6	+ 37 53,0.

D'après Gauss ([21]), le point cherché se trouve dans un quadrilatère dont les sommets ont pour positions:

AR. 258° 40′	Décl. + 30° 40′
258 42	30 57
259 13	31 9
260 4	30 32

Il restait encore à examiner ce que donneraient les étoiles de l'hémisphère austral, invisibles dans nos climats. Galloway s'est occupé de ces calculs avec un zèle tout particulier ([22]); il a comparé des observations très-récentes, faites par Johnson à Sainte-Hélène, et par Henderson au Cap de Bonne-Espérance (1830), avec les anciennes déterminations de Lacaille et de Bradley (1750 et 1757). Le résultat a été:

pour 1790,	AR. 260° 0′	Décl. + 34° 23′;
ainsi, pour 1800,	260 5	+ 34 22,
et pour 1850,	260 33	+ 34 20.

L'accord de ce résultat avec ce que les étoiles boréales avaient déjà donné, est extrêmement satisfaisant.

La direction du mouvement progressif de notre système solaire étant ainsi déterminée, avec un certain degré d'approximation, une question se présente naturellement, à sa-

voir : l'univers sidéral est-il une simple aggrégation fortuite de systèmes partiels, indépendants les uns des autres, ou est-il lui-même un système plus vaste, dans lequel tous les astres tourneraient ensemble autour du centre de gravité général ? On peut même demander si le centre de l'univers tombe dans le vide, ou s'il doit être matériellement représenté par un corps central d'une masse prépondérante. Ici nous entrons dans le domaine des pures conjectures. On peut, il est vrai, leur donner des dehors scientifiques ; mais l'insuffisance radicale des données fournies par l'observation ou par l'analogie ne permettra jamais d'élever ces hypothèses au degré de consistance et de netteté que l'on trouve dans d'autres branches de la science. Vouloir traiter à fond un pareil problème, prétendre appliquer là les ressources de l'analyse mathématique, c'est oublier que les mouvements propres d'un nombre infini de petites étoiles (de la 10e à la 14e grandeur) nous restent inconnus, et que ce sont précisément de telles étoiles qui constituent la partie la plus considérable des anneaux ou des couches stellaires de la Voie lactée. L'étude de notre propre monde planétaire, où l'on remonte successivement des petits systèmes partiels de Jupiter, de Saturne et d'Uranus à la conception du système solaire qui les comprend tous, a pu offrir, pour l'étude de l'univers, la tentation d'une analogie facile. De là l'idée d'un monde stellaire, où des groupes partiels, nombreux, situés à des intervalles immenses les uns des autres, seraient coordonnés mutuellement par un lien d'ordre supérieur, tel que l'attraction prépondérante d'un grand corps central, espèce de *Soleil de l'univers* ([25]). Mais les faits acquis contredisent ces conjectures uniquement basées sur la vague analogie qu'elles tendent à établir entre l'univers sidéral et notre système solaire. Dans les étoiles *multiples*, par exemple, est-ce que des astres lumineux par eux-mêmes, des soleils, en un mot, ne tournent pas autour d'un centre de gravité, placé bien loin d'eux dans l'espace ? Et même, dans notre propre monde, le centre du Soleil est-il donc le véritable centre des mouvements planétaires ? Non :

le centre des mouvements c'est le centre de gravité général de toutes les masses qui composent le système. Tantôt le centre de gravité tombe, en vertu des positions respectives des planètes prépondérantes (Jupiter et Saturne), à l'intérieur du Soleil; tantôt, et c'est le cas le plus fréquent, il tombe hors du Soleil ([24]). Pour les étoiles doubles, le centre de gravité est placé dans le vide. Dans notre système solaire, ce point se trouve tantôt dans le vide, tantôt dans un lieu occupé par la matière. On pourrait même imaginer, pour plier à l'analogie les étoiles binaires ou multiples, qu'il existe au centre de leurs mouvements un corps obscur ou faiblement éclairé d'une lumière étrangère; mais ce serait s'engager beaucoup trop avant dans le domaine des mythes et des hypothèses gratuites.

Voici cependant une considération plus digne d'attention. Si les mouvements propres des étoiles diversement éloignées et du Soleil lui-même s'accomplissaient dans d'immenses cercles concentriques, le centre de ces mouvements devrait se trouver à 90° du point vers lequel notre système solaire se dirige ([25]). Dans cet ordre d'idées, il devient important d'étudier de quelle manière les mouvements propres, lents ou rapides des étoiles se répartissent sur le ciel. Argelander a examiné, avec sa réserve et sa sagacité habituelles, jusqu'à quel degré de vraisemblance on pouvait chercher le centre général des gravitations de notre strate stellaire dans la constellation de Persée ([26]). Mædler se prononce pour le groupe des Pléiades. Il va plus loin, et tout en rejetant l'idée d'un corps central doué d'une masse prépondérante, il place le centre de gravité général dans Alcyone (η du Taureau), la plus belle des Pléiades ([27]). Je n'ai point à discuter ici une pareille conjecture, ni à examiner si elle est fondée ou seulement vraisemblable ([28]). On peut la repousser; on accordera, du moins, à l'actif directeur de l'Observatoire de Dorpat, que ses recherches ne seront point inutiles pour quelques parties de l'astronomie physique. Il lui restera surtout le mérite d'avoir péniblement réduit et discuté les positions et les mouvements propres de plus de 800 étoiles.

VI.

ÉTOILES DOUBLES ET MULTIPLES. —LEUR NOMBRE ET LEURS DISTANCES MUTUELLES. — DURÉES DE LA RÉVOLUTION DE DEUX SOLEILS AUTOUR DE LEUR CENTRE DE GRAVITÉ COMMUN.

Puisque le système général de l'univers a été plutôt soupçonné qu'entrevu, laissons là les considérations d'ensemble, pour descendre aux systèmes partiels. Ici, nous retrouvons un sol plus ferme, des phénomènes plus accessibles à l'observateur. Les étoiles doubles, ou plus généralement encore, les étoiles multiples sont des systèmes composés d'un très-petit nombre d'astres lumineux par eux-mêmes, véritables soleils que réunit le lien d'une gravitation réciproque, et qui exécutent leurs mouvements dans des courbes fermées. Avant que l'observation n'eût révélé leur existence, on ne connaissait de pareils mouvements que dans notre système solaire, où les planètes accomplissent aussi leurs révolutions dans des trajectoires limitées ([29]). Mais cette analogie, purement apparente, a longtemps conduit à des idées fausses. On appliquait le nom d'étoile double à tout couple d'étoiles dont le rapprochement ne permettait pas à l'œil désarmé d'opérer la séparation (Castor, α de la Lyre, β d'Orion, α du Centaure); tandis qu'il aurait fallu distinguer deux classes fort différentes de couples stellaires; ceux qui paraissent tels, à cause de la situation particu-

lière de l'observateur, quoique les étoiles, en apparence réunies, appartiennent en réalité à des régions ou à des couches tout à fait différentes; et ceux qui sont formés d'étoiles réellement voisines, d'étoiles placées, dès lors, sous l'influence de leur gravitation réciproque. Ceux-ci sont de vrais systèmes partiels. On donne à ces deux classes les noms d'étoiles doubles *optiques* et d'étoiles doubles *physiques*. Lorsque la distance est grande et le mouvement très-lent, ces dernières peuvent être aisément confondues avec les couples purement optiques. Alcor, petite étoile dont les astronomes arabes ont souvent parlé, parce qu'elle est visible à l'œil nu, quand l'air est pur et la vue très-perçante, constitue avec ζ de la queue de la Grande Ourse un couple optique dans toute l'étendue du mot, je veux dire un couple d'étoiles physiquement indépendantes. J'ai rappelé ailleurs combien une grande proximité, apparente ou réelle, peut apporter d'obstacles à la séparation optique des étoiles formant couple, surtout si l'une des deux possède un éclat prépondérant. Les queues stellaires et d'autres illusions d'origine organique qui produisent la vision indistincte, ont été aussi discutées en leur lieu ([30]).

Sans avoir jamais fait, des étoiles doubles, un but spécial de recherches télescopiques, Galilée, dont les lunettes étaient d'ailleurs beaucoup trop faibles pour un pareil sujet, avait remarqué cependant l'existence des couples *optiques*. Dans un passage célèbre de sa *Giornata terza*, il indique aux astronomes le parti qu'ils pourraient tirer de ces étoiles, pour en déterminer la parallaxe (quando si trovasse nel telescopio qualche picciolissima stella, vicinissima ad alcuna delle maggiori) ([31]). C'est à peine si l'on comptait 20 étoiles doubles, vers le milieu du siècle passé en excluant celles dont la distance surpasse 32″. Aujourd'hui, on en connaît 6000 dans les deux hémisphères, grâce aux immenses travaux de William Herschel, de John Herschel et de Struve. Parmi les plus anciens couples connus on peut citer; ζ de la grande Ourse, signalée, en 1700, par Gottfried Kirch; α du Centaure, en 1709 par le Père Feuillée; γ de la Vierge,

en 1718; α des Gémeaux, en 1719; la 61ᵉ du Cygne, en 1755; (ces trois derniers ont été observés par Bradley qui en a déterminé les angles de position et les distances); p d'Ophiucus; ζ de l'Écrevisse.... ([52]). Peu à peu, leur nombre est allé en augmentant, depuis Flamsteed qui se servait déjà d'un micromètre, jusqu'à Tobie Mayer dont le catalogue parut en 1756. Deux profonds penseurs, Lambert (*Photometria*, 1760; *Lettres Cosmologiques sur la Structure de l'Univers,* 1761) et John Michel (1767) n'ont point observé eux-mêmes les étoiles doubles, mais ils ont publié les premières notions exactes sur les rapports d'attraction mutuelle qui doivent exister entre les composantes de ces systèmes partiels. Lambert pensait, avec Képler, que les soleils éloignés doivent être entourés, comme notre propre Soleil, d'un cortége d'astres obscurs, semblables à nos planètes et à nos comètes. Quant aux étoiles très rapprochées l'une de l'autre, il croyait tout en paraissant pencher pour l'hypothèse d'un corps central obscur, que ces étoiles devaient tourner autour de leur centre de gravité commun, et accomplir leur révolution dans un espace de temps assez restreint ([53]). Michell, qui ne connaissait point les idées émises par Kant et par Lambert, suivit une autre voie. Il appliqua le calcul des probabilités à l'étude des groupes stellaires et surtout aux étoiles multiples, binaires ou quaternaires ([54]). Il prouva qu'il y avait 500000 à parier contre 1, que la réunion des 6 étoiles principales des Pléiades ne pouvait être l'effet du hasard, et qu'une cause quelconque avait dû en déterminer le rapprochement. Il se montre si persuadé de l'existence d'étoiles tournant l'une autour de l'autre, qu'il propose l'étude de ces systèmes partiels comme un moyen de résoudre certains problèmes astronomiques ([55]).

Christian Mayer, astronome de Manheim, a le grand mérite d'avoir, le premier, sérieusement observé les étoiles doubles (en 1778). La désignation peu convenable de *satellites* et surtout l'application qu'il avait cru devoir en faire à des étoiles qu'il rattachait à Arcturus, quoiqu'elles en fus-

sent éloignées de 2° 30′ et de 2° 55′, l'exposèrent aux railleries de ses contemporains et à la critique par trop amère d'un célèbre géomètre, Nicolas Fuss. Était-il vraisemblable, en effet, que des corps planétaires pussent être visibles pour nous, s'ils empruntaient leur lumière à des sources si éloignées? On rejeta donc les idées systématiques de Mayer: on se crut même le droit de rejeter aussi ses observations. Il disait pourtant, en propres termes, dans sa réponse aux critiques du Père Maximilien Hell, directeur de l'observatoire impérial de Vienne: « ou bien les petites étoiles qui sont placées si près des grandes sont sans lumière propre et simplement éclairées comme des planètes; ou bien l'étoile centrale et son satellite sont deux soleils, brillant de leur propre éclat, qui tournent l'un autour de l'autre. » Ce qu'il y a de capital dans les travaux de Christian Mayer a été dignement reconnu, longtemps après sa mort, par Struve et par Mædler, qui ont fait valoir ses droits à la reconnaissance des astronomes. Dans ses deux traités: *Défense des nouvelles Observations sur les Satellites d'Étoiles* (en allemand, 1778), et *Dissert. de novis in Cœlo sidereo Phænomenis* (1779), on trouve la description de 80 étoiles doubles qu'il avait observées; parmi ces couples, 67 ont une distance moindre que 32″. La plupart avaient été découverts par C. Mayer, à l'aide de l'excellente lunette de 2ᵐ, 6 de longueur focale, dont le quart de cercle mural de Manheim était pourvu. Quelques-uns sont encore comptés, aujourd'hui, parmi les objets les plus difficiles, que des instruments puissants peuvent seuls faire distinguer; tels sont ρ et 71 d'Hercule, la 5ᵉ de la Lyre et ω des Poissons. » A la vérité, Mayer observait seulement, à l'aide des instruments méridiens (comme on l'a fait d'ailleurs longtemps encore après lui), les différences d'ascension droite ou de déclinaison; mais quand il voulut comparer ses résultats aux observations anciennes, pour mettre en évidence les changements de position, il ne sut pas toujours très bien démêler ce qui provenait seulement de certains mouvements propres. ([36]).

Ces faibles mais mémorables débuts furent suivis des travaux gigantesques de W. Herschel, comprenant une longue période de plus de 25 années. Quoique son premier Catalogue d'étoiles doubles soit postérieur de quatre ans au traité que C. Mayer avait publié sur le même sujet, il n'en est pas moins vrai que ses observations remontent à l'an 1779, et même 1776, si l'on tient compte de ses recherches sur le trapèze de la grande nébuleuse d'Orion. Presque tout ce que nous savons aujourd'hui sur les étoiles doubles a sa racine dans les travaux de W. Herschel. Non-seulement Herschel a publié des Catalogues en 1782, 1783 et 1804 qui contiennent 846 couples stellaires, presque tous découverts et mesurés par lui ([37]); mais, ce qui importe bien plus que l'augmentation du nombre, Herschel a exercé son génie d'observation et sa sagacité sur tout ce qui a rapport aux orbites, à la durée présumée des révolutions, à l'éclat de la lumière, au contraste des couleurs, à la classification des divers couples d'après les distances mutuelles des étoiles composantes. Doué de la plus vive imagination, et malgré cela procédant toujours avec une extrême réserve, ce ne fut qu'en 1794 qu'Herschel osa exprimer ses idées sur la nature des relations qui peuvent exister entre l'étoile principale et le compagnon, et établir enfin une distinction profonde entre les étoiles doubles physiques et les étoiles doubles optiques. Neuf ans plus tard, il développa la connexité générale de ces phénomènes, dans le 93[e] volume des *Philosophical Transactions*. La science était désormais en possession d'une théorie complète de ces systèmes partiels, où nous voyons des soleils tourner autour de leur centre de gravité commun. On sut alors que la force d'attraction qui gouverne notre système, qui s'étend du Soleil à Neptune et même 28 fois plus loin, puisque l'attraction solaire agit encore, à 131000 millions de kilomètres, sur la grande comète de 1680, la retient dans son orbite et la force à revenir, on apprit, dis-je, que cette force règne aussi dans les autres mondes et gouverne les systèmes stellaires les plus éloignés. Mais quoique W. Herschel

eût reconnu, avec une netteté parfaite, la connexité générale de ces phénomènes, il faut avouer que les observations étaient encore bien incomplètes au commencement du XIXe siècle. Les angles de position qu'il avait mesurés, joints à ceux qu'on pouvait déduire d'observations plus anciennes, ne comprenaient pas un intervalle suffisant pour permettre de calculer, avec certitude, la durée des révolutions et les autres éléments des orbites stellaires. De tels calculs devaient conduire à des erreurs; Sir John Herschel lui-même rappelle les périodes de 334 ans qu'on assignait alors à Castor, au lieu de 520 ans ([38]); de 708 ans à γ de la Vierge, au lieu de 169, et celle de 1200 ans qu'on donnait à γ du Lion (la 1424e du grand Catalogue de Struve, magnifique étoile double, dont les couleurs sont le jaune d'or et le vert rougeâtre).

Après William Herschel, W. Struve, de 1813 à 1842, et Sir John Herschel, de 1819 à 1838, ont mis au service de cette importante branche de l'astronomie une activité non moins admirable et des instruments plus parfaits, surtout pour les appareils micrométriques. En 1820, Struve publia, à Dorpat, son premier Catalogue contenant 796 étoiles doubles. Un deuxième Catalogue parut en 1824; il contenait 3112 étoiles doubles, toutes au-dessus de la 9e grandeur et ayant moins de 32″ de distance. Les 5/6 de cette collection se composaient d'étoiles doubles jusqu'alors inconnues; Struve les avait découvertes à l'aide de la grande lunette de Fraunhofer, en soumettant plus de 120000 étoiles à une révision minutieuse. Le troisième Catalogue de Struve est de 1837; il constitue l'œuvre capitale intitulée : *Stellarum compositarum Mensuræ micrometricæ* ([39]). Ce livre contient seulement 2787 étoiles doubles, attendu que certains objets observés d'une manière incomplète en ont été soigneusement exclus.

Ce nombre déjà si considérable a été encore augmenté, grâce à des travaux qui feront époque dans l'histoire astronomique de l'hémisphère austral. Pendant un séjour de quatre ans au Cap de Bonne-Espérance, à Feldhausen, J. Herschel

a observé plus de 2100 étoiles doubles, dont quelques-unes seulement étaient déjà connues ([40]). Toutes ces observations africaines ont été faites à l'aide d'un télescope de 20 pieds (6 mètres), calculées et réduites à 1830, et coordonnées de manière a faire suite à six catalogues antérieurs que Sir John Herschel avait déjà publiés dans la 6e et la 9e partie de la riche collection des *Memoirs of the R. Astronomical Society* ([41]). Les six catalogues européens contenaient déjà 3346-étoiles doubles, dont 380 ont été observées en commun par Sir John Herschel et Sir James South, en 1825.

La série historique de ces travaux montre comment la science s'est élevée successivement, dans le cours d'un demi-siècle, à la connaissance approfondie des systèmes stellaires *partiels* et surtout des systèmes *binaires*. On peut aujourd'hui, avec quelque certitude, porter à 6000 le nombre des étoiles doubles, en tenant compte de celles qui ont été découvertes par Bessel avec son magnifique héliomètre de Fraunhofer; par Argelander, à Abo, de 1827 à 1835 ([42]); par Encke et Galle, à Berlin, de 1836 à 1839; par Preuss et Otto Struve à Poulkova (depuis le grand catalogue de 1837); par Mædler à Dorpat, et par Mitchell à Cincinnati, où il emploie une lunette de Munich de 5m,5 de longueur. Parmi ces 6000 couples dont les étoiles composantes paraissent si rapprochées, même pour l'œil muni des plus puissants télescopes, combien y a-t-il d'étoiles doubles purement optiques et combien de couples où les deux étoiles, soumises aux lois d'une attraction mutuelle, circulent dans des courbes fermées et constituent un système véritable? C'est assurément là une question capitale, mais il est malaisé d'y répondre aujourd'hui. En fait, le nombre des couples où l'on peut prouver que le satellite se meut autour de l'étoile centrale va toujours en augmentant. Des mouvements d'une lenteur extrême, une position défavorable de l'orbite peuvent faire méconnaître longtemps le caractère d'un couple stellaire, et le faire ranger à tort parmi les étoiles optiquement doubles. Cependant la constatation de mouvements *relatifs* n'est pas le seul critérium. Si les

deux étoiles d'un même couple sont animées du même mouvement de *translation,* si elles marchent ensemble dans l'espace absolu, de même que Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune entraînent avec eux leurs cortéges de satellites, et sont entraînés eux-mêmes, avec tout le système solaire, dans une même direction, alors on peut prononcer sur la nature de ce couple; ses étoiles composantes sont reliées physiquement; elles appartiennent à un même système. Les travaux de Bessel et d'Argelander sur les mouvements propres des étoiles ont conduit ainsi à reconnaître un certain nombre de véritables systèmes stellaires. Nous devons à Mædler la remarque suivante. Jusqu'en 1836, on ne connaissait, sur 2640 étoiles doubles cataloguées, que 58 couples dans lesquels des changements de position relative avaient été constatés, et 105 où l'existence de tels changements pouvaient paraître plus ou moins vraisemblables. Aujourd'hui le rapport numérique des étoiles physiquement doubles à celles qui le sont optiquement a bien changé. D'après un tableau publié en 1849, sur 6000 couples, on en a trouvé 650 dont les composantes ont changé manifestement de position relative ([43]). Autrefois on ne connaissait qu'un couple physique, sur 16 étoiles doubles; aujourd'hui leur rapport est celui de 1 à 9.

Quant à la distribution des étoiles doubles, soit dans l'espace absolu, soit même, plus simplement, sur la voûte apparente des cieux, on est encore bien peu avancé, et il est difficile d'assigner des nombres exacts. On sait, par exemple, dans quelle région se trouve la majeure partie des étoiles doubles: c'est celle des constellations d'Andromède, du Bouvier, de la Grande-Ourse, du Lynx et d'Orion, pour l'hémisphère boréal. Pour le ciel austral, Sir John Herschel a remarqué « que dans la partie extratropicale de cet hémisphère, le nombre des étoiles multiples est beaucoup plus faible que dans la partie correspondante de la zône opposée. » Malgré ce que ce résultat peut avoir d'inattendu, il n'en mérite pas moins toute confiance, car les belles régions du ciel austral ont été explorées sous les conditions atmosphé-

riques les plus favorables, et par un observateur des plus habiles, à l'aide d'un puissant télescope de 6 mètres de longueur focale qui séparait des couples d'étoiles de 8e grandeur, même lorsque des distances ne dépassaient point 3/4 de seconde ([44]).

Un des caractères les plus remarquables des étoiles doubles, c'est le contraste de couleur qu'elles présentent dans une foule de cas. Struve a examiné, dans son grand ouvrage de 1837 ([45]), les couleurs de 600 étoiles doubles, choisies parmi les plus brillantes; voici les résultats de sa discussion. Dans 375 couples stellaires, les deux étoiles ont la même couleur, au même degré d'intensité. Dans 101 couples, les étoiles sont aussi de même teinte; mais on remarque une différence quant à l'intensité de leurs colorations respectives. Struve en a trouvé 120, c'est-à-dire 1/5 du nombre total, où les couleurs diffèrent complètement. Les couples où l'étoile principale et le compagnon ont même couleur, sont donc 4 fois plus nombreux. Les étoiles blanches forment près de la moitié de ces 600 couples. Parmi les étoiles doubles à deux couleurs, on rencontre souvent l'association du jaune et du bleu, comme dans ι de l'Écrevisse, ou de l'orangé et du vert, comme dans l'étoile triple γ d'Andromède ([46]).

Arago a fait remarquer, en 1825, que les étoiles doubles bicolores présentent souvent deux couleurs complémentaires, c'est-à-dire deux couleurs dont la réunion forme du blanc ([47]). On sait, en optique, qu'un objet faiblement éclairé paraîtra vert, par un effet de contraste, si on le place à côté de quelque autre objet d'un rouge éclatant; il paraîtra bleu, si l'objet voisin brille d'une vive lumière jaune. Mais, en faisant cette remarque, Arago a prudemment rappelé que si la teinte verte ou bleue du compagnon pouvait s'expliquer par un effet de contraste, lorsque l'étoile centrale est elle-même teinte de rouge ou de jaune, il faudrait se garder, cependant, de généraliser ce mode d'explication au point de nier, par exemple, l'existence d'étoiles réellement vertes ou bleues ([48]). Il cite, en effet, plusieurs couples

dans lesquels une étoile brillante et blanche a pour compagnon une petite étoile bleue (1527 du Lion, 1768 des Chiens de Chasse); il cite encore δ du Serpent, dont les composantes sont bleues toutes deux ([49]): il propose enfin de vérifier si les teintes complémentaires sont réellement un effet de contraste, en couvrant l'étoile principale avec un fil ou un diaphragme, lorsque la distance des deux étoiles le permet. Ordinairement, c'est la petite étoile seule qui est bleue; cependant on voit le contraire dans la 23 d'Orion (696 du Catalogue de Struve, p. LXXX), dont l'étoile principale est bleuâtre, tandis que le compagnon est d'un blanc parfait. Si les soleils, dont ces systèmes multiples se composent, sont entourés de planètes invisibles pour nous, ces planètes doivent avoir leurs jours *blancs, bleus, rouges* et *verts* ([50]).

Il faut, pour plus d'un motif, se garder de généraliser trop tôt en pareilles matières. Nous avons vu ([51]) que toutes les étoiles colorées ne sont pas nécessairement des étoiles variables; de même les étoiles doubles d'une ou de plusieurs couleurs ne sont pas toujours des étoiles physiquement doubles. De ce que certaines coïncidences se reproduisent souvent sous nos yeux, il n'en faudrait pas toujours conclure que ces coïncidences sont des faits nécessaires, surtout quand il s'agit d'étoiles périodiquement variables, ou d'étoiles tournant dans des systèmes partiels autour d'un centre de gravité commun. En notant avec soin les couleurs des étoiles doubles jusqu'à la 9e grandeur, c'est-à-dire jusqu'à la limite où la coloration cesse d'être perceptible, on y a retrouvé toutes les nuances du spectre solaire; mais ces teintes ne se répartissent pas indifféremment entre les deux composantes. Quand l'étoile principale n'est pas blanche, sa couleur se rapproche, en général, de l'extrémité rouge du spectre, c'est-à-dire de celle des rayons les moins réfrangibles; tandis que la couleur du satellite tire sur le violet, et correspond ainsi aux rayons les plus réfrangibles. Les étoiles rougeâtres sont deux fois plus nombreuses que les étoiles bleues ou bleuâtres; les blanches sont 2 1/2 fois plus nombreuses que les

étoiles plus ou moins rouges. Il est encore digne de remarque qu'une grande différence de coloration se rencontre d'ordinaire avec une grande inégalité d'éclat. Deux couples que leur vive lumière permet d'observer en plein jour, ζ du Bouvier et γ du Lion, se composent, l'un de deux étoiles blanches de 3ᵉ et de 4ᵉ grandeur, l'autre d'une étoile principale de 2ᵉ grandeur et d'un satellite de 3ᵉ,5 grandeur. Celle-ci, γ du Lion, est la plus belle étoile double du ciel boréal, de même que α du Centaure (52) et α de la Croix sont les plus belles de l'hémisphère austral. Quant à ζ du Bouvier, il présente, avec α du Centaure et γ de la Vierge, une assez rare particularité, à savoir, la réunion de deux grandes étoiles d'un éclat peu différent.

Il règne encore bien des incertitudes et des désaccords sur la question de la variabilité d'éclat, considérée par rapport aux étoiles doubles, surtout quand il s'agit du compagnon. J'ai déjà dit (53) que l'étoile principale de α d'Hercule offre assez peu de régularité dans ses variations. Struve a observé des changements d'éclat dans les deux étoiles de γ de la Vierge qui sont à peu près de la même couleur jaunâtre et du même éclat (3ᵉ gr.), et dans le nº 2718 de son grand Catalogue. Peut-être ces changements proviennent-ils du mouvement de rotation de ces soleils autour de leurs axes (54). Après les changements d'éclat, disons un mot des changements de couleur. On a soupçonné des variations de ce genre dans γ du Lion et γ du Dauphin; mais la question reste encore indécise. On n'a pas réussi à constater que des étoiles blanches soient devenues colorées, ou que des étoiles colorées soient devenues blanches, comme cela paraît avoir eu lieu pour une étoile isolée, pour Sirius (55). S'il s'agit de simples variations de nuances, la discussion doit tenir compte de nombreuses causes d'erreur, parmi lesquelles il faut mettre, au premier rang, l'individualité organique de chaque observateur et même les propriétés optiques de chaque instrument. On sait, par exemple, que les miroirs des télescopes ont pour effet de teindre plus ou moins en rouge tous les rayons lumineux qu'ils réfléchissent.

Parmi les étoiles multiples, on trouve : des étoiles triples, comme ξ de la Balance, ζ de l'Écrevisse, la 12e du Lynx, la 11e de la Licorne ; des étoiles quadruples, telles que les nos 102 et 2681 du catalogue de Struve, α d'Andromède et ε de la Lyre ; enfin une étoile sextuple, θ d'Orion, qui forme le célèbre trapèze de la grande nébuleuse d'Orion. Très-probablement cette étoile sextuple constitue un véritable système, car les 5 petites étoiles de 6e,3 grandeur de 7e; de 8e, de 11e,3 et de 12e grandeur partagent le mouvement propre de l'étoile principale (4e,7 gr.). Toutefois on n'y a pas encore remarqué le moindre déplacement relatif (56). Dans les étoiles triples ξ de la Balance et ζ de l'Écrevisse, au contraire, les mouvements révolutifs de tous les satellites ont été parfaitement constatés. La dernière se compose de 3 étoiles de 5e grandeur, d'un éclat peu différent, et le satellite le plus voisin de l'étoile centrale paraît avoir un mouvement 10 fois plus rapide que le plus éloigné.

Le nombre des étoiles doubles dont les orbites ont pu être calculées monte aujourd'hui à 4; il y en a encore 10 ou 12 dont les éléments seront probablement bientôt connus avec un degré suffisant d'approximation (57). Parmi ces étoiles, ζ d'Hercule a déjà accompli, sous nos yeux, deux révolutions entières ; il a offert deux fois, en 1802 et en 1831, le curieux spectacle d'une étoile occultée par une autre étoile (58).

C'est à Savary que l'on doit les premiers calculs relatifs à la détermination des éléments de l'orbite d'une étoile double; il avait choisi ξ de la Grande-Ourse pour sujet de ses recherches. Puis vinrent les méthodes et les calculs d'Encke et de Sir John Herschel ; plus tard encore, les travaux de Bessel, de Struve, de Mædler, de Hind, de Smyth, du capitaine Jacob et d'Yvon Villarceau. Les méthodes de Savary et d'Encke exigent 4 observations complètes, correspondant à des époques suffisamment éloignées l'une de l'autre. Celles de Sir John Herschel et d'Yvon Villarceau sont destinées à utiliser immédiatement l'ensemble des observations. Les plus courtes durées des révolutions, dans

les étoiles doubles, sont de 36, 61, 66 et 77 ans; elles sont donc intermédiaires entre celle de Saturne et celle d'Uranus. La plus longue révolution, parmi celles dont la durée a pu être déterminée avec quelque apparence de succès, est de 500 ans, c'est-à-dire triple du temps de la révolution du Neptune de Le Verrier. L'excentricité des ellipses stellaires est très considérable, à en juger d'après les faits actuellement connus. Par exemple, celle des ellipses de γ de la Vierge (0,87) et de α du Centaure (0,95 ou 0,72) en font des orbites véritablement cométaires; et même, la comète intérieure de Faye, comète dont l'orbite, il est vrai, s'éloigne le moins de la forme circulaire, a une excentricité (0,55) plus faible que ces deux étoiles doubles. Les orbites des autres étoiles sont comparativement peu excentriques.

Si, dans un couple stellaire, on considère l'une des deux étoiles, la plus brillante, par exemple, comme étant en repos, et qu'on la prenne pour centre du mouvement de la seconde étoile, on peut conclure des observations et des calculs actuels que la courbe décrite par le compagnon autour de l'étoile centrale est une ellipse, dans laquelle le rayon vecteur décrit des aires égales en temps égaux. C'est ainsi qu'en multipliant les mesures d'angle de position et de distance, on a pu s'assurer que les soleils de ces divers systèmes obéissent aux mêmes lois de gravitation que les planètes de notre propre monde. Il a fallu un demi-siècle d'efforts pour asseoir enfin ce grand résultat sur des bases solides; mais aussi ce demi-siècle comptera comme une grande époque dans l'histoire des sciences qui s'élèvent jusqu'au point de vue cosmique. Des astres auxquels une vieille habitude a conservé le nom de *fixes*, quoiqu'ils ne soient ni *fixés*, ni même *immobiles* sur la voûte céleste, se sont mutuellement occultés sous nos yeux. La connaissance de ces systèmes partiels, où des mouvements s'accomplissent ainsi en dehors de toute influence extérieure, ouvre à la pensée un champ d'autant plus large, que déjà ces systèmes apparaissent, à leur tour, comme de simples détails, dans le vaste ensemble des mouvements qui animent les espaces célestes.

ÉLÉMENTS DES ORBITES DES ÉTOILES DOUBLES.

NOMS ET GRANDEURS DES ÉTOILES	DEMI GRAND AXE	EXCENTRICITÉ	DURÉE de la RÉVOLUTION	NOMS DES CALCULATEURS
			ans	
ξ Grande-Ourse	3″,857	0,4164	58,262	Savary 1830
4e et 5e gr.	3,278	0,3777	60,720	J. Herschel (1849)
	2,295	0,4037	61,300	Mædler 1847
	2,439	0,4315	61,576	Y. Villarceau 1848
p d'Ophiucus	4″,328	0,4300	73,862	Encke 1832
4e et 6e gr.	4,966	0,4445	92,338	Y. Villarceau 1849
	4,8	0,4781	92	Mædler 1849
ζ d'Hercule	1″,208	0,4320	30,22	Mædler 1847
3e et 6e, 5 gr.	1,254	0,4482	36,357	Y. Villarceau 1847
η Couronne	0″,902	0,2891	42,50	Mædler 1847
5e,5 et 6e gr.	1,012	0,4744	42,501	Y. Villarceau 1847
	1,111	0,4695	66,257	Id. 2e solution.
Castor	8″,086	0,7582	252,66	J. Herschel (1849)
2e,7 et 3e, 7 gr.	5,692	0,2194	519,77	Mædler 1847
	6,300	0,2405	632,27	Hind 1849
γ de la Vierge	3″,580	0.8795	182,42	J. Herschel (1849)
3e et 3e gr.	3,863	0,8806	169,44	Mædler 1847
	3,446	0,8699	153,787	Y. Villarceau 1848
	″	$-0{,}0016\,f$	$-\ 0{,}081\,f$	$f > -1$ et $< +1$
	$+1''.\,g$	$+0{,}0426\,g$	$+69{,}4\ \ g$	$g > -0{,}42$ et $< +0{,}15$
ζ de l'Écrevisse	0″,934	0,3662	58,59	Y. Villarceau 1849
5e et 6e gr.	0,892	0,4438	58,27	Mædler (1849)
α du Centaure	15″,500	0,9500	77,00	Capit. Jacob 1848
1re et 2e gr.	12,128	0,7187	78,486	Y. Villarceau 1848

Remarques sur le tableau précédent.

Les orbites des 4 premières étoiles doubles paraissent être assez bien déterminées aujourd'hui. Il n'en est pas de même des 4 dernières: pour celles-là, les observations actuelles ne fournissent pas assez de données réellement distinctes pour qu'on puisse en déduire les 7 éléments de l'orbite.

Il était impossible de ne pas rappeler, dans ce tableau, les calculs de Savary et d'Encke sur ξ de la Grande Ourse et p d'Ophiucus. Ces calculs ont, en effet, uno valeur historique, parce que ce sont les premières applications des méthodes de calcul que ces deux astronomes éminents ont proposées. Mais comme en 1830 et en 1832 les données de l'observation étaient encore insuffisantes, il ne faut pas s'étonner des discordances que l'on ne manquera pas de remarquer entre les éléments d'Encke ou de Savary et ceux de J. Herschel, de Mædler ou d'Yvon Villarceau. Les déterminations *récentes* relatives aux 4 premières étoiles s'accordent beaucoup mieux, et tout fait espérer que les éléments consignés dans ce tableau n'auront plus à subir désormais de très-graves modifications.

Cependant η de la Couronne présente une singulière anomalie. Tous les astronomes qui se sont occupés de cette étoile, jusqu'en 1847, lui assignaient une révolution de 43 ans. Villarceau a trouvé, en 1847, que le problème était susceptible de recevoir deux solutions entièrement distinctes, dont l'une conclut à 43 ans et l'autre à 66 ans de révolution. A l'époque où ces derniers calculs furent exécutés, il n'y avait aucun motif décisif d'adopter une de ces orbites de préférence à l'autre; mais les observations récentes de O. Struve paraissent décider en faveur de la seconde solution, celle de 66 ans, dont les calculateurs précédents ne s'étaient point avisés.

Comme les nombres du tableau ne donneraient pas une idée complète de ces deux solutions, je mets ici en regard, pour chacune d'elles, les 7 éléments fondamentaux de l'orbite:

	1re solution.	2e solution plus probable.
Temps de la révolution.	42ans,501	66ans,257
Demi-grand axe.	1",012	1",111
Excentricité.	0",4744	0",4695
Inclinaison.	65° 39',2	58° 3',3
Longitude du nœud.	10° 26',6	4° 20',7
Longitude du périhélie.	237° 36',1	198° 57',5
Temps du passage au périhélie vrai. . .	1805,666 1848,167	1780,124 1846,381

14

La cause de cette singulière anomalie est elle-même digne d'intérêt. Dans les mesures d'étoiles doubles, c'est la plus belle des deux étoiles d'un même couple que l'on prend pour centre; on la considère comme relativement fixe, et on lui rapporte les positions occupées par la seconde étoile, considérée dès lors comme un satellite. Cela posé, lorsque les deux étoiles sont à peu près égales et de même couleur, et que les observations sont séparées par un grand nombre d'années, comme cela eut lieu effectivement à l'époque des grands travaux d'Herschel, on risque de se tromper d'étoile et de prendre pour fixe celle qui était d'abord considérée comme mobile. D'ordinaire la confusion ne saurait être de longue durée; elle n'a d'ailleurs d'autre inconvénient que de changer de 180° les angles observés, et il est facile de réparer l'erreur. Mais, pour η de la Couronne, un concours fortuit de circonstances laisse subsister en entier une ambiguïté de ce genre, dans l'interprétation des angles de position mesurés par W. Herschel. Malgré la plus minutieuse discussion de toutes les circonstances propres à guider le choix du calculateur, Villarceau n'a pu qu'indiquer des probabilités en faveur de l'orbite de 66 ans, et il a dû présenter la double solution à laquelle les données actuelles le conduisaient, tout en fixant à 1853 l'époque où il ne sera plus possible d'hésiter entre les deux orbites. Je viens de dire que les dernières observations de Poulkova décident déjà en faveur de l'orbite de 66 ans (**).

Les discordances des éléments qui ont été assignées aux 4 dernières étoiles, par différents calculateurs, montrent assez l'insuffisance des données actuelles de l'observation. Villarceau s'est même vu forcé de laisser subsister deux indéterminées g et f dans l'expression des éléments de γ de la Vierge, une dans celle de ζ de l'Écrevisse et deux dans celles de α du Centaure (le tableau ne contient que les indéterminées de la première). Ici l'incertitude est d'une tout autre nature que pour η de la Couronne. Il ne s'agit plus d'opter entre deux orbites différentes qui seules peuvent satisfaire aux observations, mais de choisir parmi un nombre infini d'orbites, comprises entre des limites données. Ainsi on sait seulement, pour γ de la Vierge, que la durée de la révolution est comprise entre 125 et 164 ans, d'après les indéterminées du tableau, ou, plus exactement, entre 128 et 166 ans, toutes les valeurs intermédiaires étant à peu près également admissibles.

Les éléments de γ de la Vierge, de ζ de l'Écrevisse et de α du Centaure, calculés par Y. Villarceau, n'ont encore été publiés nulle part; j'en dois la communication à l'obligeance de cet excellent astronome.

NOTES

On a supprimé le chiffre des centaines dans l'indication des notes; cette suppression n'occasionnera point d'incertitude, attendu qu'au numéro du renvoi est toujours joint celui de la page correspondante.

NOTES

(1) [page 2]. *Cosmos*, t. I, p. 42-45 et 109.

(2) [page 4]. *Cosmos*, t. I, p. 3-5; t. II, p. 7-9 et 73.

(3) [page 4]. *Cosmos*, t. II, p. 20-24 et 35-38.

(4) [page 4]. *Cosmos*, t. I, p. 305-308; t. II, p. 92-95.

(5) [page 4]. M. von Olfers, *Ueberreste vorweltlicher Riesenthiere in Beziehung auf ostasiatische Sagen*, dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1839, p. 51. Sur l'opinion d'Empédocle au sujet de la disparition des anciennes formes animales on peut voir Hegel, *Geschichte der Philosophie*, t. II, p. 344.

(6) [page 5]. Voyez, sur l'Arbre du Monde (Yggdrasil) et sur la source retentissante de Hvergelmir, Jacob Grimm, *deutsche Mythologie*, 1844, p. 530 et 756, et Mallet, *Monuments de la Mythol. et de la poésie des Celtes*, 1756, p. 110.

(7) [page 6]. *Cosmos*, t. I, p. 25-27 et 47-54.

(8) [page 7]. *Cosmos*, t. I, p. 430.

(9) [page 7]. En établissant d'une manière générale, dans les considérations qui servent d'introduction au *Cosmos*, t. I, p. 27, que le dernier but des sciences expérimentales est de découvrir les lois des phénomènes, peut-être aurais-je dû me borner à dire, afin d'éviter toute fausse interprétation, qu'il en est ainsi en effet pour beaucoup de classes de phénomènes. La netteté avec

laquelle je me suis exprimé, dans le second volume (p. 267 et 302-303), sur la relation que l'on peut établir entre le rôle de Newton et celui de Képler, prouve assez, j'espère, que je ne confonds pas la découverte des lois naturelles avec leur interprétation, c'est-à-dire avec l'explication des phénomènes, et répondait d'avance aux objections que l'on a pu me faire. Je disais à propos de Képler: « Le riche fonds d'observations précises fournies par Tycho donna les moyens de découvrir les lois éternelles du monde planétaire qui répandirent plus tard sur le nom de Képler un éclat impérissable, et qui, interprétées par Newton, démontrées par lui théoriquement et comme un résultat nécessaire, ont été transportées dans la sphère lumineuse de la pensée, et ont fondé la connaissance rationnelle de la nature. » Et au sujet de Newton: « Nous terminons en faisant voir comment la connaissance de la forme de la Terre est sortie, par voie de déduction, de raisonnements théoriques. Newton s'éleva à l'explication du système du monde, parce qu'il eut le bonheur de découvrir la force dont les lois de Képler ne sont que les conséquences inévitables. » On peut consulter sur ce point, c'est-à-dire sur la différence qui existe entre la recherche des lois et celle des causes, les excellentes remarques contenues dans le livre de sir John Herschel, *Address for the fifteenth Meeting of the Britan. Assoc. at Cambridge*, 1845, p. XLII et *Edinburgh Review*, t. LXXXVII, 1848, p. 180-183.

(10) [page 8]. Dans le remarquable passage (*Metaph.* XII, 8, p. 1074, éd. Bekker) où Aristote fait mention des restes de la sagesse primitive qui a disparu de la terre, il est parlé clairement et librement du culte des forces naturelles et de divinités semblables aux hommes: « Beaucoup d'autres mythes, dit Aristote, ont été ajoutés, pour convaincre la foule, pour servir d'appui aux lois, et en vue d'autres buts non moins utiles. »

(11) [page 8]. Cette distinction importante des deux directions suivies par la philosophie de la nature (τρόποι) est nettement indiquée dans les *Physicæ Auscultationes* d'Aristote (I, 4, p. 187, éd. Bekker). Voyez aussi Brandis, dans le *Rheinisches Museum für Philologie*, 3e année, p. 113.

(12) [page 9]. *Cosmos*, t. I, p. 107 et 346, n. 87; t. II, p. 365 et 440, n. 27. Un remarquable passage de Simplicius (p. 491)

oppose très-nettement la force centripète à la force centrifuge. Il y est fait mention de l'équilibre des corps célestes, tant que la force centrifuge contre-balancera la pesanteur qui attire les corps vers les régions inférieures. C'est par la même raison que dans le Traité de Plutarque, *de Facie in orbe Lunæ*, p. 923, la Lune suspendue au-dessus de la Terre est comparée à une pierre dans une fronde. Sur le sens propre de la (περιχώρησις) d'Anaxagore, voyez le recueil des fragments de ce philosophe, publié par Schaubach, 1827, p. 107-109.

(13) [page 9]. Schaubach, *ibid.*, p. 151-156 et 185-189. Sur les plantes considérées comme animées aussi par l'esprit (νοῦς), Voyez Aristote, *de Plantis*, I, 1, p. 815, éd. Bekker.

(14) [page 9]. Sur cette partie de la physique mathématique de Platon, voyez Boeckh, *de Platonico system. cœlestium globorum*, 1810 et 1811; H. Martin, *Études sur le Timée*, t. II, p. 234-242, et Brandis, *Geschichte der Griechisch-Rœmischen Philosophie*, 2e part,, sect. 1, 1844, p. 375.

(15) [page 10]. *Cosmos*, t. II, p. 281 et 459, n. 4; Comp. Gruppe, *ueber die Fragmente des Archytas*, 1840, p. 33.

(16) [page 10]. Aristote, *Polit.* VII, 4, p. 1326; *Metaphys.* XII, 7, p. 1072, et XII, 10, p. 1074, éd. Bekker. Le traité du Pseudo-Aristote, *de Mundo*, qu'Osann attribue à Chrysippe (*Cosmos*, t. II, p. 10), contient aussi, au chap. 6, p. 397, un passage éloquent sur l'ordonnateur et le conservateur du monde.

(17) [page 10]. Les preuves à l'appui sont rassemblées dans H. Ritter, *Histoire de la philosophie*, trad. par Tissot, t, III, p. 155-160.

(18) [page 10]. Voyez Aristote, *de Anima*, II, 7, p. 419. Dans ce passage, l'analogie de la vue avec l'ouïe est très-clairement exprimée: mais dans d'autres, Aristote a modifié diversement sa théorie de la vision. Ainsi, on lit dans le Traité de *Insomniis* (c. 2, p. 459, éd. Bekker): « Il est évident que la vue est non-seulement passive, mais active; qu'elle ne se borne pas à recevoir l'action de l'air, mais qu'elle réagit sur le milieu dans lequel s'opère la vision. » Aristote cite comme preuve que, en certaines circonstances, un miroir de métal très-pur garde à sa sur-

face, dès qu'une femme y a jeté les yeux, une trace nuageuse difficile à effacer. Comp. Martin, *Études sur le Timée de Platon*, t. II, p. 159-163.

(19) [page 11]. Aristote, *de Partibus Animalium*, IV, 5, p. 681, l. 12, éd. Bekker.

(20) [page 11]. Aristote, *Histor. Animal.*, IX, 1, p. 588, éd. Bekker. Si, dans le règne animal, il manque sur la terre quelques représentants des quatre éléments, ceux, par exemple, qui correspondent au feu le plus pur, il n'est pas impossible que ces degrés intermédiaires existent dans la lune. (Biese, *die Philosophie des Aristoteles*, t. II, p. 186.) Il est assez singulier qu'Aristote cherche dans la Lune les anneaux de la chaîne que nous recomposons tout entière avec les formes évanouies des animaux ou des plantes.

(21) [page 11]. Aristote, *Metaphys.*, XIII, 3, p. 1090, l. 20, éd. Bekker.

(22) [page 11]. L'ἀντιπερίστασις d'Aristote joue particulièrement un grand rôle dans toutes les explications des phénomènes météorologiques. Voyez les Traités *de Generatione et Interitu*, II, 3, p. 330, les *Meteorologica*, I, 12, et III, 3, p. 372, et les *Problemata*, XIV, 3, VIII, n° 9, p. 888, et XIV, n° 3, p. 909, Traités qui, s'ils ne sont pas d'Aristote, sont du moins composés d'après les principes aristotéliques. Dans l'ancienne hypothèse de la polarité (κατ'ἀντιπερίστασιν), les conditions analogues s'attirent et les conditions opposées se repoussent (+ et —). Voyez Ideler, *Meteorol. veter. Græcorum et Romanorum*, 1832, p. 10. Les conditions opposées, au lieu de se neutraliser en se combinant, augmentent plutôt la *tension*. Le froid (ψυχρὸν) l'emporte sur le chaud (θερμον). C'est le contraire de ce qui arrive « dans la formation de la grêle, lorsque les nuages s'abaissent dans des couches d'air plus chaudes, et que la chaleur du milieu ambiant accélère le refroidissement des particules déjà froides. » Aristote explique par son ἀντιπερίστασις, c'est-à-dire par une espèce de polarité de la chaleur, ce que la physique moderne explique par la conductibilité, le rayonnement, la condensation et les changements produits dans la capacité des corps pour la chaleur. Voyez les ingénieuses considérations de Paul Erman, dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1815, p. 128.

(23) [page 11]. « C'est au mouvement de la sphère céleste que doivent être rapportées toutes les modifications des corps et tous les phénomènes terrestres. » Aristote, *Meteorol.*, I, 2, p. 339, et *de Generatione et Interitu*, II, 10, p. 336, éd. Bekker.

(24) [page 12]. Aristote, *de Cœlo*, I, 9, p. 279; II, 3, p. 286, et 13, p. 292, éd. Bekker. Comp. Biese, t. I, p. 352-357.

(25) [page 12]. Aristote, *Physicæ Auscultationes*, II, 8, p. 199; *de Anima*, III, 12, p. 434; *de Animalium Generatione*, V, 1, p. 778, éd. Bekker.

(26) [page 12]. Voyez Aristote, *Meteorol.*, XII, 8, p. 1074, passage dont il existe une remarquable explication dans le commentaire d'Alexandre d'Aphrodisie. Les astres ne sont pas des corps inanimés, ils doivent être considérés plutôt comme des êtres agissants et vivants; ils sont la partie divine des phénomènes, τὰ θειότερα τῶν φανερῶν (Aristote, *de Cœlo*, I, 9, p. 278; II, 1, p. 284, et 12, p. 292). Dans le petit Traité *de Mundo* faussement attribué à Aristote, et où respire souvent une disposition religieuse, particulièrement lorsque l'auteur dépeint la toute-puissance du Dieu qui conserve le monde (c. 6, p. 400), le haut éther est appelé divin (c. 2, p. 392). Ce que Kepler, guidé par sa riche imagination, nomme, dans son *Mysterium cosmographicum* (c. 20, p. 71, des esprits moteurs (animæ motrices), n'est autre chose que la force (virtus) qui a son siége principal dans le Soleil (anima mundi), force qui varie avec la distance, en suivant les mêmes lois que l'intensité de la lumière, et qui retient les planètes dans leurs orbites elliptiques. Voyez Apelt, *Epochen der Geschichte der Menscheit*, t. I, p. 274.

(27) [page 12]. *Cosmos*, t. II, p. 211-220.

(28) [page 13]. Voyez une ingénieuse et savante analyse des écrits du philosophe de Nola, dans le livre de M. Christian Bartholmèss, *Jordano Bruno*, t. II, 1847, p. 129, 149 et 201.

(29) [page 13]. Il fut brûlé à Rome en vertu de cette sentence: ut quam clementissime et citra sanguinis effusionem puniretur. Bruno avait été enfermé pendant six ans sous les plombs de Venise, et pendant deux ans dans les cachots de l'inquisition, à Rome. Lorsque l'arrêt de mort lui fut annoncé, cet homme, que rien ne pouvait faire fléchir, prononça ces belles et coura-

geuses paroles: Majori forsitan cum timore sententiam in me fertis quam ego accipiam. Après qu'il se fut enfui de l'Italie en 1580, il professa à Genève, à Lyon, à Toulouse, à Paris, à Oxford, à Marburg, à Wittenberg qu'il nomme l'Athènes de l'Allemagne, à Prague, à Helmsted où il acheva l'éducation scientifique du duc Jules de Brunswick-Wolfenbüttel, et enfin en 1592 à Padoue. (Bartholmèss, t. I, p. 167-178).

(30) [page 14]. Bartholmèss, t. II, p. 219, 232 et 370. Bruno rassembla soigneusement les diverses observations auxquelles donna lieu ce grand événement céleste d'une nouvelle étoile apparaissant, en 1572, dans Cassiopée. On a souvent, de nos jours, examiné le lien qui rattache la philosophie naturelle de Bruno à celle de deux de ses compatriotes, Bernardino Telesio et Thomas Campanella, ainsi qu'à celle d'un cardinal platonicien, Nicolas Krebs, de Cusa (*Cosmos*, t. II, p. 441).

(31) [page 14]. « Si duo lapides in aliquo loco Mundi collocarentur propinqui invicem, extra orbem virtutis tertii cognati corporis; illi lapides ad similitudinem duorum Magneticorum corporum coirent loco intermédio, quilibet accedens ad alterum tanto intervallo, quanta est alterius moles in comparatione. Si Luna et Terra non retinerentur vi animali (!) aut alia aliqua æquipollente, quælibet in suo circuitu, Terra adscenderet ad Lunam quinquagesima quarta parte intervalli, Luna descenderet ad Terram quinquaginta tribus circiter partibus intervalli; ibi jungerentur, posito tamen quod substantia utriusque sit unius et ejusdem densitatis. » Képler, *Astronomia nova, seu Physica cœlestis de Motibus Stellæ Martis*, 1609, Introd. fol. 5). Sur les idées que l'on se faisait plus anciennement de la gravitation, voyez *Cosmos*, t. II, p. 265, 440 et 441.

(32) [page 15]. « Si terra cessaret attrahere ad se aquas suas aquæ marinæ omnes elevarentur et in corpus Lunæ influerent. Orbis virtutis tractoriæ, quæ est in Luna, porrigitur usque ad terras, et prolectat aquas quacunque in verticem loci incidit sub Zonam torridam, quippe in occursum suum quacunque in verticem loci incidit, insensibiliter in maribus inclusis, sensibiliter ibi ubi sunt latissimi alvei Oceani propinqui, aquisque spaciosa reciprocationis libertas. » (Képler, *ibid.*) « Undas a Luna trahi ut ferrum a Magnete....... » (Képler, *Harmonices Mundi*

libri quinque, 1619, l. IV, c. 7, p. 162). Ce livre qui renferme tant d'admirables choses et, entre autres, le fondement de la troisième loi de Képler, en vertu de laquelle les carrés des temps de la révolution des planètes sont entre eux comme les cubes des distances moyennes, est défiguré par les plus étranges fantaisies sur la respiration, la nourriture et la chaleur de la Terre considérée comme un animal vivant, sur l'ame de cet animal, sa mémoire (memoria animæ terræ), et jusque sur son imagination créatrice (animæ telluris imaginatio). Ce grand homme tenait si fermement à ces rêveries qu'elles fournirent matière à une contestation sérieuse de priorité avec Robert Fludd, d'Oxford, l'auteur mythique du *Macrocosmos*, qui paraît n'avoir pas été étranger à l'invention du thermomètre (*Harmonice Mundi*, p. 252). — L'attraction des masses est souvent confondue, dans les écrits de Képler, avec l'attraction magnétique: « Corpus Solis esse magneticum. Virtutem quæ planetas movet residere in corpore Solis (*Stella Martis*, 3e part. c. 32 et 34); il suppose à chaque planète un axe magnétique qui est toujours invariablement dirigé vers la même région du ciel (Apelt, *Joh. Keppler's astronom. Weltansicht*, 1849, p. 73).

(33) [page 15]. *Cosmos*, t. II, p. 390 et 697, n. 55.

(34) [page 15]. Baillet, *la Vie de M. Des-Cartes*, 1691, 1re part., p. 197, et *OEuvres de Descartes*, publiées par Victor Cousin, t. I, 1824, p. 101.

(35) [page 16]. Voyez les lettres de Descartes au P. Mersenne, en date du 19 nov. 1633 et du 5 jan. 1634, dans la vie de Descartes par Baillet, 1re part., p. 244-247.

(36) [page 16]. La traduction latine est intitulée: *Mundus sive dissertatio de Lumine ut et de aliis Sensuum Objectis primariis*. Voyez R. Descartes, *Opuscula posthuma physica et mathematica*, Amst., 1704.

(37) [page 16]. « Lunam aquis carere et aere; marium similitudinem in luna nullam reperio. Nam regiones planas quæ montosis multo obscuriores sunt, quasque vulgo pro maribus haberi video et oceanorum nominibus insigniri, in his ipsis, longiore telescopio inspectis, cavitates exiguas inesse comperio rotundas, umbris intus cadentibus; quod maris superficiei convenire ne-

quit: tum ipsi campi illi latiores non prorsus æquabilem superficiem preferunt, cum diligentius eos intuemur. Quodcirca maria esse non possunt, sed materia constare debent minus candicante quam quæ est partibus asperioribus, in quibus rursus quædam viridiori lumine cæteras præcellunt. » (Hugenii, *Cosmotheoros*, ed. alt. 1699, l. II, p. 114). Huyghens suppose cependant qu'il y a dans Jupiter de nombreux orages, et qu'il y pleut abondamment. « Ventorum flatus ex illa nubium Jovialium mutabili facie cognoscitur (l. I, p. 69). » Les rêveries de Huyghens sur les habitants des planètes lointaines, rêveries indignes d'un aussi grand géomètre, ont malheureusement été reproduites par Emmanuel Kant dans un ouvrage excellent d'ailleurs: *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, 1751, p. 173-192.

(38) [page 17]. Laplace, des Oscillations de l'Atmosphère, du Flux solaire et lunaire, dans la *Mécanique céleste*, l. IV, et dans l'*Exposition du Système du Monde*, 1824, p. 291-296.

(39) [page 17]. Adjicere jam licet de spiritu quodem subtilissimo corpora crassa pervadente et in iisdem latente, cujus vi et actionibus particulæ corporum ad *minimas distantias* se mutuo *attrahunt* et contiguæ factæ cohærent. (Newton, *Principia Philos. natur.*, éd. Le Seur et Jacquier, 1760, Schol. gen., t. III, p. 676.) Voyez aussi du même auteur, *Opticks*, 1718, Prop. 31, p. 305 et 353, 367 et 372; Laplace, *Système du Monde*, p. 384; *Cosmos*, t. I, p. 42 et 320.

(40) [page 18]. Hactenus phænomena cœlorum et maris nostri per vim gravitatis exposui, sed causam gravitatis nondum assignavi. Oritur utique hæc vis a causa aliqua, quæ penetrat ad usque centra solis et planetarum, sine virtutis diminutione, quæque agit non pro quantitate superficierum particularum, in quas agit (ut solent causæ mechanicæ), sed pro quantitate materiæ solidæ. — Rationem harum gravitatis proprietatum ex phænomenis nondum potui deducere et hypotheses non fingo. Satis est quod gravitas revera existat et agat secundum leges a nobis expositas (Newton, *Principia Philos. natur.*, p. 676). — To tell us that every species of things is endow'd with an occult specifick quality by which it acts and produces manifest effects, is to tell us nothing: but to derive two or three general principles, of motion from phænomena, and afterwards to tell us how the

properties and actions of all corporeal things follow from those manifest principles, would be a very great step in Philosophy, though the causes of those principles were not yet discovered: and therefore I scruple not to propose the principles of motion and leave their causes to be found eut. (Newton, *Opticks*, p. 377.) Plus haut (Prop. 31, p. 351), il avait déjà dit: Bodies act one upon another by the attraction of gravity, magnetism and electricity, and it is not improbable that there may be more attractive powers than these. How these attractions may be performed, I do not here consider. What I call attraction, may be performed by *impulse* or by some other means unknown to me. I use that word here to signify only in general any force by which bodies tend towards one another, whatsoever be the cause.

(41) [page 18]. « I suppose the rarer æther within bodies and the denser without them, » dit Newton (*Opera*, IV, éd. Samuel Horsley, 1782, p. 386). A propos de la diffraction découverte par Grimaldi, on lit à la fin d'une lettre de Newton à Robert Boyle, en date du mois de février 1678 (p. 394); I shall set down one conjecture more which came into my mind: it is about the cause of gravity . . . . . Des lettres écrites à Oldenburg, en décembre 1675, prouvent qu'à cette époque Newton n'était pas encore revenu sur l'hypothèse de l'éther; il croyait alors que l'impulsion de la lumière matérielle mettait l'éther en vibration, et que les vibrations de cet éther, assez semblable à un fluide nerveux, ne pouvaient pas elles-mêmes produire la lumière. Voyez au sujet des débats de Newton avec Hooke, Horsley, t. IV, p. 376-380.

(42) [page 18]. Brewster, *Life or Sir Isaac Newton*, p. 303-305.

(43) [page 18]. Cette déclaration qu'il ne prenait pas la gravitation *for an essential property of bodies*, déclaration faite par Newton dans son *Second Advertisement*, ne s'accorde pas avec l'existence des forces attractives et répulsives qu'il attribue à toutes les molécules, afin d'expliquer, conformément à la théorie de l'émission, les phénomènes de la réfraction et de la réflexion des rayons lumineux (Newton, *Opticks*, l. II, Prop. 8, p. 241; Brewster, *Life of Sir Isaac Newton*, p. 301). D'après Kant (*Metaphisysche Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, 1800, p. 28)

on ne saurait comprendre l'existence de la matière, sans ces forces attractives et répulsives. Selon lui, tous les phénomènes physiques sont produits par le conflit de ces deux forces fondamentales, ainsi que l'avait dit déjà Goodwin Knight (*Philos. Transact.*, 1748, p. 264). Les systèmes atomistiques, diamétralement opposés aux théories dynamiques de Kant, attribuent la force attractive aux molécules solides et indivisibles dont tous les corps sont composés, et la force répulsive aux atmosphères de calorique qui entourent ces molécules. Dans cette hypothèse, d'après laquelle le calorique est considéré comme une matière en état d'expansion continuelle, on admet deux matières, c'est-à-dire deux substances élémentaires, comme dans le mythe des deux éthers (Newton, *Opticks*, Prop. 28, p. 339). Mais alors il reste à demander ce qui produit l'expansion de la matière même du calorique. Si l'on veut, toujours d'après les hypothèses atomistiques, comparer la densité des molécules avec celle des corps qu'elles composent, on est conduit à ce résultat, que les intervalles des molécules sont beaucoup plus grands que leurs diamètres.

(44) [page 19]. *Cosmos*, t. I, p. 74-77.

(45) [page 20]. *Cosmos*, t. I. p. 33 et 35-42.

(46) [page 20]. Guillaume de Humboldt, *Gesammelte Werke*, t. I, p. 23.

(47) [page 21]. *Cosmos*, t. I, p. 59 et 61.

(48) [page 22]. *Cosmos*, t. I, p. 36-37.

(49) [page 22]. Halley, dans les *Philos. Transact.* for 1717, t. XXX, page 736.

(50) [page 23]. Pseudo-Plutarque, *de Placitis Philosoph.* II, 15-16; Stobée *Eclog. phys.* p. 582; Platon, *Timée*, p. 40.

(51) [page 23]. Macrobe, *Somnium Scipionis*, I, 9-10. Cicéron, *de Natura Deorum*, III, 21, emploie l'expression de Stellæ inerrantes.

(52) [page 23]. Le passage décisif pour l'expression technique de ἐνδεδεμένα ἄστρα est dans Aristote, *de Cœlo*, II, 8, p. 289 lin. 34, p. 290 lin. 19, éd. Bekker. Ces désignations différentes

avaient déjà attiré mon attention lors de mes recherches sur l'Optique de Ptolémée. M. le professeur Franz, dont j'aime à mettre souvent l'érudition philologique à profit, remarque que Ptolémée dit aussi, en parlant des étoiles (*Syntax.* VII, 1): ὥσπερ προσπεφυκότες, *comme si elles étaient adhérentes.* Quant à l'expression de σφαῖρα ἀπλανής (*orbis inerrans*), Ptolémée fait la critique suivante : « en tant que les étoiles conservent invariablement leurs distances mutuelles, c'est à bon droit que nous les nommons ἀπλανεῖς; mais s'il s'agit de la sphère entière où elles sont attachées, la désignation de ἀπλανής est impropre, puisque cette sphère possède un mouvement particulier. »

(53) [page 23]. Cicéron, *de Nat. Deor.*, I, 13; Pline, II, 6 et 24; Manilius, II, 35.

(54) [page 25]. *Cosmos*, t. I, p. 67. Voyez aussi les excellentes considérations de Encke, *Ueber die Anordnung des Sternsystems*, 1844, p. 7.

(55) [page 26]. *Cosmos*, t. I, p. 126-127.

(56) [page 26]. Aristote, *de Cœlo*, I, 7, p. 276, éd. Bekker.

(57) [page 26]. Sir John Herschel, *Outlines of Astronomy*, 1849, § 803, p. 541.

(58) [page 27]. Bessel, dans le Schumacher's *Jahrbuch* für 1839, p. 50.

(59) [page 27]. Ehrenberg dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1838, p. 59, et dans les *Infusionsthieren*, p. 170.

(60) [page 27]. Déjà Aristote prouve, contre Leucippe et Démocrite, qu'il ne peut exister dans le monde d'espace inoccupé par la matière, de *vide*, en un mot (*Phys. Auscult.*, IV, 6-10, p. 213-217, Bekker).

(61) [page 28]. « *Akâ'sa* est, d'après le dictionnaire sanscrit de Wilson: the subtle and æthierial fluid; supposed to fill and pervade the Universe, and to be the peculiar vehicle of life and sound. Le mot *âkâ'sa* (brillant, lumineux) a pour racine *kâ's*, briller, uni à la préposition *â*. Le règne des cinq éléments se dit *pantschatâ* ou *pantschatra*, et la mort se trouve désignée par cette singulière périphrase *prâptu-pantschatra*, ayant ob-

tenu le règne des cinq, c'est-à-dire, qui s'est dissous dans les cinq éléments. L'expression se trouve dans le texte de l'*Amarakocha*, dictionnaire d'Amarasinha. » (Bopp). — Il est question des cinq éléments dans l'excellent traité de Colebrooke sur la philosophie *sânkyha* (*Transact. of the Asiat. Soc.*, t. 1 ; Lond., 1827, p. 31). Strabon parle aussi, d'après Mégasthène (XV, § 59, p. 713, éd. Casaubon), du cinquième élément des Hindous, lequel a tout formé ; mais il n'en dit pas le nom.

(62) [page 28]. Empédocle, v. 216, appelle l'éther παμφανόων *radieux*, c'est-à-dira, lumineux par lui-même.

(63) [page 28]. Platon, *Cratyle*, 410 B, où se trouve le mot ἀειθεήρ. Aristot (*de Cœlo*, I, 3, p. 270, Bekk.) dit, contrairement à l'opinion d'Anaxagore: αἰθέρα προσωνόμασαν τὸν ἀνωτάτω τόπον, ἀπὸ τοῦ θεῖν ἀεὶ τὸν ἀΐδιον χρόνον θέμενοι τὴν ἐπωνυμίαν αὐτῷ. Ἀναξαγόρας δὲ καταχέχρηται τῷ ὀνόματι τούτῳ οὐ καλῶς ὀνομάζει γὰρ αἰθέρα ἀντὶ πυρός. On trouve plus de détails encore dans Aristote I, 3, p. 339, lin. 21-34, Bekk.: « Ce que l'on nomme éther a une signification primitive qu'Anaxagore parait confondre avec le feu ; car la région supérieure est remplie de feu, et Anaxagore parle de cette région, comme s'il la prenait pour celle de l'éther lui-même; en cela il a raison, car les anciens ont considéré le corps qui se meut d'un mouvement éternel comme participant de la nature divine, et pour cette raison, ils l'ont nommé éther, afin d'indiquer que cette substance n'a pas d'analogue parmi nous. Quant à ceux qui considèrent comme étant de feu l'espace environnant, ainsi que les corps qui s'y meuvent, et qui pensent que le reste de l'espace compris entre les astres et la Terre est plein d'air, ils ne tarderaient pas à abandonner une idée aussi puérile, s'ils voulaient tenir un compte exact des recherches les plus récentes des mathématiciens. » La même étymologie, qui fait remonter à l'idée de divinité celle de rotation perpétuelle, a été reproduite par l'aristotélicien ou le stoïcien, auteur du livre *de Mundo* (c. 2, p. 392, Bekk.). Voici, à ce sujet, une remarque fort juste du professeur Franz: « Le jeu de mots, fondé sur la ressemblance de θεῖον, *divin*, avec le θέον du σῶμα ἀεὶ θέον, *corps emporté par un mouvement perpétuel*, et dont il est question dans les *Meteorologica*, est une indication bien frappante de la prépondérance que l'imagination exerçait chez les anciens ; c'est une preuve de plus de leur peu d'aptitude à

saisir nettement les véritables étymologies. » — Le professeur Buschmann signale un mot sanscrit, *âschtra*, qui signifie éther ou atmosphère, et dont la ressemblance avec le mot grec αἰθήρ est très-grande; Vans Kennedy avait déjà rapproché ces deux mots (*Researches into the Origin and Affinity of the principal Languages of Asia and Europe*, 1828, p. 279). On peut encore citer, pour le même mot la racine *as asch*, à laquelle les Hindous attachaient le sens de *briller* ou *d'éclairer*.

(64) [page 29]. Aristote *de Cœlo*, IV, 1 et 3-4, p. 308 et 311-312, Bekk. Si le Stagirite refuse à l'éther le nom de cinquième élément, ce que nient, il est vrai, H. Ritter (*Histoire de la Philosophie*, t. III, p. 216) et H. Martin (*Études sur le Timée de Platon*, t. II, p. 150), sa seule raison consiste à dire que l'éther, pris pour un état de la matière, manque de terme correspondant (Biese, *Philosophie des Aristoteles*, t. II, p. 66). Les pythagoriciens considéraient l'éther comme un cinquième élément et le représentaient, dans leur système géométrique, par le cinquième corps régulier, le dodécaèdre, composé de 12 pentagones. (H. Martin, *ibid.*, t. II, p. 245-250).

(65) [page 29]. Voyez les preuves rassemblées par Biese, t. II, p. 93.

(66) [page 29]. *Cosmos*, t. I, p. 124, 354, n. 18.

(67) [page 30]. Voyez le beau passage sur l'influence des rayons solaires, dans J. Herschel, *Outlines of Astron.*, p. 237: By the vivifying action of the sun's rays vegetables are enabled to draw support from inorganic matter and become, in their turn, the support of animals and of man, and the sources those *great deposits of dynamical efficiency which are laid up for human use in our coal strata*. By them the waters of the sea are made to circulate in vapour through the air, and irrigate the land, producing springs and rivers. By them are produced all disturbances of the chemical equilibrium of the elements of nature, which, by a series of compositions and décompositions, give rise to new products, and originate a transfer of materials... »

(68) [page 30]. *Philos. Transact.* for 1795, t. LXXXV, p. 318: John Herschel, *Outlines of Astron.*, p. 238; *Cosmos*, t. I, p. 152 et 374, n. 63.

(69) [page 30]. Bessel, dans les Schumacher's *Astron. Nachr.*, t. XIII, 1836, n° 300, p. 201.

(70) [page 30]. Bessel, *ibid.*, p. 186-192 et 229.

(71) [page 31]. Fourier, *Théorie analytique de la Chaleur*, 1822, p. IX (*Annales de Chimie et de Physique*, t. III, 1816, p. 350; t. IV, 1817, p. 128; t. VI, 1817, p. 259; t. XIII, 1820, p. 418). — Poisson a tenté d'évaluer numériquement la perte que la chaleur stellaire éprouve dans l'espace, en traversant l'éther. (*Théorie mathématique de la Chaleur*, § 196, p. 436; § 200, p. 447, et § 228, p. 521.)

(72) [page 31]. Sur la chaleur émise par les étoiles, voyez Aristote, *Meteor.*, I, 3, p. 340, lin. 58; et sur la hauteur des couches atmosphériques qui possèdent le maximum de chaleur, Sénèque, *Natur. Quæst.* II, 10: Superiora enim aeris calorem vicinorum siderum sentiunt.... »

(73) [page 31]. Pseudo-Plutarque de *Placitis Philosoph.*, II, 13.

(74) [page 32]. Arago, sur la température du pôle et des espaces célestes, dans l'*Annuaire du Bur. des Longit.* pour 1825, p. 189, et pour 1834, p. 192; Saigey, *Physique du Globe*, 1832, p. 60-78. En se fondant sur des discussions relatives à la réfraction, Svanberg trouve, pour la température de l'espace, — 50°,3 (Berzélius, *Jahresbericht* für 1830, p. 54); Arago d'après des observations faites près des pôles, — 56°,7; Péclet. — 60°; Saigey, s'appuyant sur le décroissement de la chaleur, dans l'atmosphère, déduit de 367 observations, faites par moi sur la chaîne des Andes et de Mexico, — 65°; le même, d'après des observations thermométriques faites sur le Mont-Blanc et dans l'ascension aérostatique de Gay-Lussac, — 77°; Sir John Herschel (*Edinburgh Review*, t. 87, 1848, p. 223). — 132° F., c'est-à-dire — 91° cent. Poisson admet que la température de l'espace doit surpasser celle des couches extrêmes de l'atmosphère (§ 227, p. 520); or, comme la température moyenne des îles Melville, par 74° 47 de latitude, est de — 18°, 7, Poisson assigne à l'espace une température de — 13° seulement; tandis que Pouillet lui donne — 142°, d'après des recherches actinométriques (*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. VII, 1838, p. 25-65). Ces énormes discordances sont bien de nature à faire naître des doutes sur l'efficacité des moyens auxquels on a eu recours jusqu'à présent.

(75) [page 32]. Poisson, *Théorie mathém. de la Chaleur*, p. 429 et 438. D'après lui, la solidification des couches terrestres aurait commencé par le centre, et se serait avancée peu à peu jusqu'à la surface. Voyez aussi *Cosmos*, t. I, p. 143.

(76) [page 32]. *Cosmos*, t. I, p. 63 et 116.

(77) [page 33]. « Were no atmosphere, a thermometer, freely exposed (at sunset) to the heating influence of the earth's radiation, and the cooling power of its own into space, would indicate a medium temperature between that of the celestial spaces (— 132° Fahr. = — 91° cent.) and that of the earth's surface below it (82° F. = 27°, 7 cent. at the equator, — 3°, 5 F. = — 19° 5 cent. in the Polar Sea). Under the equator, then it would stand, on the average, at — 25° F. = — 31° 9 cent., and in the Polar Sea at — 68° F = — 55° 5 cent. The presence of the atmosphere tends to prevent the thermometer so exposed from attaining these extreme low temperatures: first, by imparting heat by conduction; secondly by impeding radiation outwards. » Sir John Herschel dans l'*Edinburgh Review*, t. 87, 1848, p. 223. — « Si la chaleur des espaces planétaires n'existait point, notre atmosphère éprouverait un refroidissement dont on ne peut fixer la limite. Probablement la vie des plantes et des animaux serait impossible à la surface du globe, ou reléguée dans une étroite zone de cette surface. » Saigey, *Physique du Globe*, p. 77.

(78) [page 34]. *Traité de la Comète de 1743, avec une addition sur la force de la Lumière et sa Propagation dans l'éther, et sur la distance des étoiles fixes* par Loys de Chéseaux (1744). Sur la transparence des espaces, voyez Olbers dans le Bode's *Jahrbuch* für 1826, p. 110-121; Struve, *Études d'Astron. stellaire*, 1847, p. 83-93 et note 95; Sir John Herschel, *Outlines of Astron.*, § 798, et *Cosmos*, t. I, p. 123-124.

(79) [page 34], Halley, on the infinity of the Sphere of fix'd Stars, dans les *Philos. Transact.*, t. XXXI, for the year 1720, p. 22-26.

(80) [page 34]. *Cosmos*, t. I, p. 68-69.

(81) [page 34]. « Throughout by far the larger portion of the extent of tho Milky Way in both hemispheres, the *general blackness* of the ground of the heavens, on which its stars are pro-

jected, etc..... In those regions where that zone is clearly resolved into stars well separated and seen projected *on a black ground*, and where we look out beyond them into space.... » (Sir John Herschel, *Outlines*, p. 537 et 539.)

(82) [page 54]. *Cosmos*, t. 1, p. 66, 87 et 331, note 53; Laplace, *Essai philosophique sur les Probabilités*, 1825, p. 133; Arago dans l'*Annuaire du Bur. des Longit.* pour 1832, p. 188, pour 1836, p. 216; John Herschel, *Outlines of Astron.*, § 577.

(83) [page 55]. Le mouvement oscillatoire des effluves lumineuses qui ont paru sortir de la tête de certaines comètes, de celle de 1744, par exemple, et de celle de Halley, en 1835, effluves qui ont été observées, du 12 au 22 octobre 1835, par Bessel. (*Astron. Nachr.*, nos 300-302, p. 185-232), « peut influer, dans quelques cas particuliers, sur les mouvements de translation et de rotation de certaines comètes. Ces effluves font même présumer (p. 201 et 229) qu'il se produit alors une force polaire différente de la force d'attraction ordinaire du Soleil. « Mais la diminution de la période de 3 ans 1/2 de la comète d'Encke suit une marche trop régulière, depuis 63 ans, pour pouvoir être attribuée à l'effet accumulé d'une série d'effluves, dont l'émission ne saurait être qu'accidentelle. Cf. sur cette discussion, importante au point de vue cosmique, Bessel, dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, n° 289, p. 6, et n° 310, p. 345-350, avec le traité d'Encke, sur l'hypothèse d'un milieu résistant, ibid., n° 305, p. 265-274.

(84) [page 55]. Olbers, dans les *Astron. Nachr.*, n° 268, p. 58.

(85) [page 55]. *Outlines of Astron.*, § 556 et 597.

(86) [page 55]. « En assimilant la matière très-rare qui remplit les espaces célestes, quant à ses propriétés réfringentes, aux gaz terrestres, la densité de cette matière ne saurait dépasser une certaine limite, dont les observations des étoiles changeantes, p. ex. celles d'Algol ou de β de Persée, peuvent assigner la valeur. » (Arago, dans l'*Annuaire* pour 1846, p. 336-345.)

(87) [page 56]. Wollaston, dans les *Philos. transact.* for 1822, p. 89; Sir John Herschel, *Outlines*, § 34 et 36.

(88) [page 56]. Newton, *Princ. mathem.*, t. III, 1760, p. 671: « Vapores, qui ex sole et stellis fixis et *caudis cometarum* oriuntur, incidere *possunt* in atmosphæras planetarum... »

(89) [page 36]. *Cosmos*, t. I, p. 99 et 109-110.

(90) [page 37]. *Cosmos*, t. II, p. 271-285, et 446-454.

(91) [page 37]. Delambre, *Hist. de l'Astron. mod.*, t. II, p. 255, 269 et 272. Morin dit lui-même dans sa *Scientia longitudinum*, publiée en 1634: « Applicatio tubi optici ad alhidadam pro stellis fixis prompte et accurate mensurandis a me excogitata est. » Picard ne se servait point encore de lunette, en 1657, pour son quart de cercle; et Hevelius, lorsque Halley lui rendit visite, en 1679, pour juger de l'exactitude de ses mesures de hauteur, observait à l'aide de dioptres ou de pinnules perfectionnées (Baily, *Catal. of Stars*, p. 38).

(92) [page 38]. L'infortuné Gascoigne, dont le mérite est resté longtemps méconnu, périt âgé de vingt-trois ans à peine, à la bataille de Marston Moor, que Cromwell livra aux troupes royales. Voyez Derham dans les *Philos. Transact.*, t. XXX, for 1717-1719, p. 603-610. C'est à lui qu'appartient une invention que l'on a longtemps attribuée à Picard et à Auzout, et qui a donné une puissante impulsion à l'astronomie d'observation, c'est-à-dire à l'astronomie dont le but principal est de déterminer les positions des astres.

(93) [page 38]. *Cosmos*, t. II, p. 151.

(94) [page 39]. Le passage où Strabon (lib. III, p. 138, Casaub.) cherche à combattre l'opinion de Posidonius, est ainsi conçu, d'après les manuscrits: « L'image du Soleil paraît agrandie, sur la mer, à son lever aussi bien qu'à son coucher, parce que les vapeurs montent en plus grande quantité de l'élément humide; car l'œil qui regarde à travers les vapeurs reçoit, *comme lorsqu'il regarde à travers un tuyau*, des rayons brisés qui forment une image de forme plus grande; et la même chose arrive, lorsqu'il aperçoit, à travers un nuage sec et mince, le Soleil ou la Lune à leur coucher; dans ce dernier cas, l'astre paraît aussi rougeâtre. « On a cru, encore tout récemment, que ce passage avait été altéré (Kramer, dans son édition de Strabon 1844, t. I, p. 211), et qu'au lieu de δι αὐλῶν, il fallait lire δι ὑάλων, *à travers des globes de verre* (Schneider, *Eclog. phys.*, t. II, p. 273). La puissance amplifiante du globe de verre rempli d'eau (Sénèque, *Natur. Quæst.* I, 6) était aussi bien connue des anciens que

les effets des verres ou des cristaux ardents (Aristophane, *Nubes*, v. 765) et de l'émeraude de Néron (Pline, XXXVII, 5); mais ces globes ne pouvaient en rien servir aux instruments astronomiques (Cf. *Cosmos*, t. II, p. 406, note 44). Les hauteurs du Soleil, mesurées à travers des nuages légers et peu épais ou même à travers des vapeurs volcaniques, ne présentent aucune trace d'anomalies dans la réfraction ordinaire des rayons de lumière (Humboldt, *Recueil d'Observ. astron.*, t. I, p. 123). Le colonel Baeyer a trouvé que des couches de brouillard, ou des vapeurs interposées à dessein, ne produisaient aucune déviation angulaire dans la lumière des signaux héliotropiques, ce qui confirme d'ailleurs les résultats d'Arago. Péters a comparé, à Poulkova, des hauteurs d'étoiles observées soit par un ciel serein, soit par un ciel couvert de légers nuages, et n'a point trouvé de différence qui atteignît 0",017. (*Recherches sur la Parallaxe des étoiles*, 1848, p. 80 et 140-143; Struve, *Étudse stellaires*, p. 98). — Sur les tuyaux employés, par les Arabes, dans leurs instruments astronomiques, voyez Jourdain, *Sur l'observatoire de Meragah*, p. 27, et A. Sédillot, *Mém. sur les Instrum. astron. des Arabes*, 1841, p. 198. Les astronomes arabes ont aussi le mérite d'avoir employé, les premiers, de grands gnomons munis d'ouvertures circulaires. Dans le sextant colossal d'Abou Mahammed al-Chokandi, l'arc était divisé de 5 en 5 minutes, et recevait par une ouverture circulaire l'image du Soleil. « A midi, les rayons du Soleil passaient par une ouverture pratiquée dans la voûte de l'observatoire qui couvrait l'instrument, suivaient le *tuyau* et formaient, sur la concavité du sextant, une image circulaire dont le centre donnait, sur l'arc gradué, le complément de la hauteur du Soleil. Cet instrument ne diffère de notre moral qu'en ce qu'il était garni d'un simple tuyau au lieu d'une lunette. » (Sédillot, p. 37, 202 et 205). Les dioptres ou pinnules percées d'une ouverture ont été employées par les Grecs et les Arabes, pour déterminer le diamètre de la Lune; le trou rond de la pinnule objective mobile était plus grand que le trou de la pinnule oculaire fixe, et on faisait mouvoir la première en la rapprochant ou en l'écartant de la seconde, jusqu'à ce que le disque de la Lune, à travers la pinnule oculaire, parût remplir entièrement l'ouverture ronde de la pinnule objective. (Delambre, *Hist. de l'Astron. du moyen âge*, p. 201, et Sédillot, p. 198.) Ces pinnules, avec leurs ouvertures circulaires ou en fente, paraissent avoir été in-

troduites par Hipparque; Archimède se servait de deux petits cylindres fixés sur la même alidade (Bailly, *Hist. de l'Astron. mod.*, 2e édit., 1785, t. I, p. 480). Voyez aussi: *Théon d'Alexandrie*, Basle., 1538, p. 257 et 262: les *Hypotyp.* de Proclus Diadochus, éd. Halma, 1820. p. 107 et 110. et Ptolémée, *Almageste*, éd. Halma, t. I, Par., 1813, p. LVII.

(95) [page 39]. D'après Arago. Voyez Moigno, *Répert d'Optique moderne.* 1847 p. 153.

(96) [page 40]. Voyez sur les raies noires du spectre solaire dans l'image daguerrienne, les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XIV, 1842, p. 902-904, et t. XVI, 1843, p. 402-407.

(97) [page 40]. *Cosmos*, t. II, p. 282-283.

(98) [page 40]. Quant à l'importante question de distinguer entre la lumière propre et la lumière réfléchie, on peut citer, comme exemple, les recherches d'Arago sur la lumière des comètes. En employant un appareil fondé sur la polarisation chromatique dont il avait fait la découverte en 1811, Arago a trouvé que la lumière de la comète de Halley (1835) donnait lieu à deux images teintes de deux couleurs complémentaires, telles que le rouge et le vert, ce qui prouve que cette lumière contenait de la lumière solaire réfléchie. J'ai assisté moi-même à des recherches plus anciennes, faites en vue de comparer, à l'aide du polariscope, les propriétés de la lumière propre de la Chèvre avec celles de la lumière d'une comète qui s'était dégagée tout à coup des rayons du Soleil, au commencement de juillet 1819. (*Annuaire du Bur. des Longit.* pour 1836, p. 232; *Cosmos*, t. I, p. 85 et 330; Bessel, dans le Schumacher's *Jahrbuch* für 1837, p. 169.)

(99) [page 40]. Lettre de M. Arago à M. Alexandre de Humboldt, 1840, p. 37: « A l'aide d'un polariscope de mon invention, je reconnus (avant 1820), que la lumière de tous les corps terrestres incandescents, *solides* ou *liquides*, est de la lumière naturelle, tant qu'elle émane du corps sous des incidences perpendiculaires. La lumière, au contraire, qui sort de la surface incandescente sous un angle aigu, offre des marques manifestes de polarisation. Je ne m'arrête pas à te rappeler ici, comment je déduisis de ce fait la conséquence curieuse que la lumière ne s'en-

gendre pas seulement à la surface des corps; qu'une portion nait *dans leur substance même*, cette substance fût-elle du platine. J'ai seulement besoin de dire qu'en répétant la même série d'épreuves et avec les mêmes instruments sur la lumière que lance une substance *gazeuse* enflammée, on ne lui trouve, *sous quelque inclinaison que ce soit*, aucun des caractères de la *lumière polarisée*; que la lumière des gaz, prise à la sortie de la surface enflammée est de la lumière naturelle, ce qui n'empêche pas qu'elle ne se polarise ensuite complètement, si on la soumet à des réflexions ou à des réfractions convenables. De là une méthode très-simple pour découvrir à 40 millions de lieues de distance la nature du Soleil. La lumière provenant *du bord de cet astre*, la lumière émanée de la matière solaire *sous un angle aigu*, et nous arrivant sans avoir éprouvé en route des réflexions ou réfractions sensibles, offre-t-elle des traces de polarisation, le Soleil est un corp *solide* ou *liquide*. S'il n'y a, au contraire, aucun indice de polarisation dans la lumière du bord, la *partie incandescente* du Soleil *est gazeuse*. C'est par cet enchaînement méthodique d'observations qu'on peut arriver à des notions exactes sur la constitution physique du Soleil. » Sur les enveloppes du Soleil, voyez Arago dans l'*Annuaire* pour 1846, p. 464. Je reproduis ici, sous leur forme originale, tous les éclaircissements détaillés que j'emprunte aux écrits imprimés ou manuscrits d'Arago, sur divers points d'optique. En conservant les propres paroles de mon ami, j'ai pour but d'éviter les méprises ou les altérations auxquelles les incertitudes de la terminologie scientifique pourraient donner lieu, dans les nombreuses traductions qui sont faites de cet ouvrage.

(100) [page 40]. Sur l'effet d'une lame de tourmaline taillée parallèlement aux arêtes du prisme, servant, lorsqu'elle est convenablement située, à éliminer en totalité les rayons réfléchis par la surface de la mer, et mêlés à la lumière provenant de l'écueil, voyez Arago, *Instructions de la Bonite*, dans l'*Annuaire* pour 1836, p. 339-343.

(1) [page 41]. De la possibilité de déterminer les pouvoirs réfringents des corps, d'après leur composition chimique (recherches appliquées aux rapports de l'oxygène et de l'azote, dans l'air atmosphérique, à la proportion de l'hydrogène dans l'ammoniaque et dans l'eau; à l'acide carbonique, l'alcool et le diamant), dans

Biot et Arago, *Mémoire sur les affinités des corps pour la lumière*, mars 1806, et *Mémoires mathém. et phys. de l'Institut*, t. VII, p. 327-346; Humboldt, *Mémoire sur les Réfractions astronomiques dans la zone torride*, dans le *Recueil d'Obser. astron.*, t. I, p. 115 et 122.

(2) [page 41]. Expériences de M. Arago sur la puissance réfractive des corps diaphanes (de l'air sec et de l'air humide) par le déplacement des franges, dans Moigno, *Répertoire d'Optique mod.* 1847, p. 159-162.

(3) [page 41]. Pour renverser l'assertion d'Aratus, à savoir, que l'on voit seulement 6 étoiles dans les Pléiades, Hipparque dit (ad Arati *Phænom.* I, p. 190 in *Uranologio Petavii*): « Une étoile a échappé à Aratus; car si l'on fixe attentivement les Pléiades, par une *nuit pure et sans lune*, on y voit 7 étoiles. D'après cela, il paraît étonnant qu'Attalus, dans sa description des Pléiades, ait laissé passer cette méprise d'Aratus, comme si le dire de ce dernier avait été trouvé conforme à la réalité. » Dans les *Catastérismes* attribués à Ératosthène (XXIII), Merope est nommée *παναφανής*, *l'invisible.* Quant au rapport présumé entre le nom de l'étoile *voilée* (une fille d'Atlas) et les mythes géographiques qu'on trouve dans la *Méropide* de Théopompe, ou avec le *grand continent Saturnien* de Plutarque et l'Atlantide, voyez Humboldt. *Examen crit. de l'Hist. de la Géographie*, t. I, p. 170, et Ideler, *Untersuchungen über den Ursprung und die Bedeutung der Sternnamen* 1809, p. 145. Quant aux positions astronomiques, voyez Mædler, *Untersuch. über die Fixsternsysteme*, 2[e] part. 1848. p. 36 et 166, et Baily dans les *Mem. of the Astron. Soc.*, t. XIII, p. 33.

(4) [page 42]. Ideler, *Sternnamen*, p. 19 et 25. — « On observe, dit Arago, qu'une lumière forte fait disparaître une lumière faible placée dans le voisinage. Quelle peut en être la cause? Il est possible physiologiquement que l'ébranlement communiqué à la rétine par la lumière forte s'étende au delà des points que la lumière forte a frappés, et que cet ébranlement secondaire absorbe et neutralise en quelque sorte l'ébranlement provenant de la seconde et faible lumière. Mais sans entrer dans ces causes physiologiques, il y a une cause directe qu'on peut indiquer pour la disparition de la faible lumière: c'est que les rayons prove-

nant de la grande n'ont pas seulement formé une image nette sur la rétine, mais se sont dispersés aussi sur toutes les parties de cet organe, à cause des imperfections de transparence de la cornée. — Les rayons du corps plus brillant *a*, en traversant la cornée, se comportent comme en traversant un corps légèrement dépoli. Une partie de ces rayons réfractés régulièrement forme l'image même de *a*, l'autre partie *dispersée* éclaire la totalité de la rétine. C'est donc sur ce fond lumineux que se projette l'image de l'objet voisin *b*. Cette dernière image doit donc ou disparaitre ou être affaiblie. *De jour*, deux causes contribuent à l'affaiblissement des étoiles. L'une de ces causes c'est l'image distincte de cette portion de l'atmosphère comprise dans la direction de l'étoile (de la portion aérienne placée entre l'œil et l'étoile) et sur laquelle l'image de l'étoile vient de se peindre; l'autre cause c'est la lumière diffuse provenant de la dispersion que les défauts de la cornée impriment aux rayons émanant de tous les points de l'atmosphère visible. *De nuit*, les couches atmosphériques interposées entre l'œil et l'étoile vers laquelle on vise n'agissent pas; chaque étoile du firmament forme une image plus nette, mais une partie de leur lumière se trouve dispersée à cause du manque de diaphanéité de la cornée. Le même raisonnement s'applique à une deuxième, troisième..... millième étoile. La rétine se trouve donc éclairée en totalité par une lumière diffuse, proportionnelle au nombre de ces étoiles et à leur éclat. On conçoit par là que cette somme de lumière diffuse affaiblisse ou fasse entièrement disparaitre l'image de l'étoile vers laquelle on dirige la vue. » (Arago, *Manuscrit de* 1847.)

(5) [page 43]. Arago dans l'*Annuaire* pour 1842, p. 284, et dans les *Comptes rendus*, t. XV, 1842, p. 750 (Schumacher's *Astron. Nachr.*, n° 702). « Relativement à vos conjectures sur la visibilité des satellites de Jupiter, m'écrit M. le Dr Galle, je me suis occupé de déterminer leur grandeur par voie d'estime. J'ai trouvé, contre mon attente, que ces satellites ne sont point de 5e grandeur, mais de 6e ou de 7e grandeur tout au plus. Seulement le 3e satellite, qui est le plus brillant, paraissait égaler en éclat une étoile voisine de 6e grandeur que je pouvais encore distinguer à l'œil nu, à quelque distance de Jupiter. En tenant compte de l'effet produit par la vive lumière de Jupiter, j'estime que ce satellite paraitrait peut-être de 5e ou de 6e grandeur, s'il

était isolé. Le quatrième satellite se trouvait dans sa plus grande élongation; cependant je ne l'estime pas au-dessus de la 7e grandeur. Les rayons de Jupiter n'auraient point empêché ce satellite d'être visible, s'il eût dépassé cette grandeur. En comparant Aldébaran avec l'étoile voisine θ du Taureau, où l'on distingue nettement deux étoiles séparées par un intervalle de 5′ 1/2, je me suis assuré que, pour un œil ordinaire, les rayons de Jupiter s'étendent à 5′ ou 6′ au moins. » Ces évaluations s'accordent avec celles d'Arago; celui-ci croit même que les faux rayons peuvent avoir une étendue double pour quelques personnes. On sait d'ailleurs que les distances moyennes des quatre satellites au centre de Jupiter sont 1′51″, 2′57″, 4′42″ et 8′16″. « Si nous supposons que l'image de Jupiter, dans certains yeux exceptionnels, s'épanouisse seulement par des rayons d'une ou deux minutes d'amplitude, il ne semblera pas impossible que les satellites soient de temps en temps aperçus, sans avoir besoin de recourir à l'artifice de l'amplification. Pour vérifier cette conjecture, j'ai fait construire une petite lunette dans laquelle l'objectif et l'oculaire ont à peu près le même foyer, et qui dès lors *ne grossit point*. Cette lunette ne détruit pas entièrement les rayons divergents, mais elle en réduit considérablement la longueur. Cela a suffi pour qu'un satellite, convenablement écarté de la planète, soit devenu visible. Le fait a été constaté par tous les jeunes astronomes de l'Observatoire. » (Arago, dans les *Comptes rendus*, t. XV, 1842, p. 751). — On peut citer, comme un remarquable exemple du degré de pénétration que la vue atteint chez certains individus, et de la grande sensibilité de la rétine, le cas d'un maître tailleur, nommé Schœn, qui mourut à Breslau, en 1837, et sur lequel l'habile et savant directeur de l'Observatoire de cette ville, M. de Boguslawski, m'a fait d'intéressantes communications. « On s'est assuré plusieurs fois, depuis 1820 par des épreuves sérieuses, que Schœn distinguait les satellites de Jupiter, lorsque la nuit était sereine et sans lune. Il en indiquait exactement les positions; il pouvait même le faire pour plusieurs satellites à la fois. Quand on lui dit que les faux rayons des astres empêchaient les autres personnes d'en faire autant, Schœn exprima son étonnement sur ces faux rayons si gênants pour d'autres que pour lui. D'après les vifs débats qui s'élevèrent entre lui et les personnes présentes à ces expériences, sur la difficulté de voir les satellites à l'œil nu, il fallut bien conclure que, pour

Schœn, les étoiles et les planètes étaient dépourvues de rayons parasites et paraissaient comme de simples points brillants. C'était le troisième satellite qu'il distinguait le mieux; il voyait aussi très-bien le premier vers ses plus grandes digressions; mais il ne vit jamais le second ni le quatrième seul. Lorsque l'état du ciel n'était pas tout à fait favorable, les satellites lui apparaissaient comme de faibles lignes lumineuses. Jamais, dans ces expériences, il ne lui arriva de confondre les satellites avec de petites étoiles, sans doute à cause de la scintillation de celles-ci, et de leur lumière moins calme. Quelques années avant sa mort, Schœn se plaignait à moi de l'affaiblissement de sa vue; ses yeux ne pouvaient plus distinguer les lunes de Jupiter: même quand l'air était pur, elles ne lui apparaissaient plus isolément que comme de faibles traits de lumière. » Les résultats de ces recherches s'accordent très-bien avec ce qu'on l'on sait depuis longtemps sur l'éclat relatif des satellites de Jupiter; car, pour des individus doués d'organes si parfaits et si sensibles, il est probable que l'éclat et la nature de la lumière ont plus d'effet que les distances des satellites à la planète. Schœn ne vit jamais le 2ᵉ ni le 4ᵉ satellite. Le 2ᵉ est le plus petit de tous; le 4ᵉ est, à la vérité, le plus éloigné et même le plus brillant après le 3ᵉ; mais sa couleur s'assombrit périodiquement, et c'est presque toujours le plus faible des quatre satellites. Quant au 3ᵉ et au 1ᵉʳ, que Schœn voyait le plus aisément et le plus souvent à l'œil nu, l'un (le 3ᵉ) est le plus grand, celui qui d'ordinaire brille le plus, et sa lumière est d'un jaune bien tranché; l'autre (le 1ᵉʳ) surpasse quelquefois, par l'éclat de sa vive lumière jaune, le 3ᵉ satellite bien qu'il soit beaucoup plus petit. (Mædler, *Astron.*, 1846, p. 231-234 et 439). Quant à la question de savoir comment des points brillants très-éloignés peuvent être vus sous forme de raies lumineuses, on peut consulter Sturm et Airy dans les *Comptes rendus*, t. XX, p. 764-766.

(6) [page 43]. « L'image *épanouie* d'une étoile de 7ᵉ grandeur n'ébranle pas suffisamment la rétine: elle n'y fait pas naître une sensation appréciable de lumière. Si l'image *n'était point épanouie* (par des rayons divergents), la sensation aurait plus de force, et l'étoile se verrait. La première classe d'étoiles invisibles à l'œil nu ne serait plus alors la septième: pour la trouver, il faudrait peut-être descendre alors jusqu'à la 12ᵉ. Considérons

un groupe d'étoiles de 7e grandeur tellement rapprochées les unes des autres que les intervalles échappent nécessairement à l'œil. *Si la vision avait de la netteté*, si l'image de chaque étoile était très-petite et bien terminée, l'observateur apercevrait un champ de lumière dont chaque point aurait l'*éclat concentré* d'une étoile de 7e grandeur. L'*éclat concentré* d'une étoile de 7e grandeur suffit à la vision à l'œil nu. Le groupe serait donc visible à l'œil nu. Dilatons maintenant sur la rétine l'image de chaque étoile du groupe; remplaçons chaque point de l'ancienne image générale par un petit cercle; ces cercles empiéteront les uns sur les autres, et les divers points de la rétine se trouveront éclairés par de la lumière venant simultanément de plusieurs étoiles. Pour peu qu'on y réfléchisse, il restera évident qu'excepté sur les bords de l'image générale, l'aire lumineuse ainsi éclairée a précisément, à cause de la superposition des cercles la même intensité que dans le cas où chaque étoile n'éclaire qu'un seul point au fond de l'œil; mais si chacun de ces points reçoit une lumière égale en intensité à la lumière concentrée d'une étoile de 7e grandeur, il est clair que l'épanouissement des images individuelles des étoiles contiguës ne doit pas empêcher la visibilité de l'ensemble. Les instruments télescopiques ont, quoiqu'à un beaucoup moindre degré, le défaut de donner aussi aux étoiles un *diamètre sensible et factice.* Avec ces instruments, comme à l'œil nu, on doit donc apercevoir des groupes, composés d'étoiles inférieures en intensité à celles que les mêmes lunettes ou télescopes feraient apercevoir isolément. » Arago, dans l'*Annuaire du Bur. des Longit.* pour l'an 1842, p. 284.

(7) [page 43]. Sir William Herschel dans les *Philos. Transac.* for 1803, t. 93, p. 225, et for 1805, t. 95, p. 184. Voyez aussi Arago dans l'*Annuaire* pour 1842, p. 360-374.

(8) [page 46]. Humboldt, *Relation hist. du Voyage aux Régions équinox.*, t. 1, p. 92-97 et Bouguer, *Traité d'Optique*, p. 360 et 365. Voyez aussi le cap. Beechey dans le *Manual of scientific Enquiry for the use of the R. Navy*, 1849, p. 71.

(9) [page 47]. Le passage d'Aristote, cité par Buffon, se trouve dans un livre où on ne se serait guère avisé de le chercher, le livre *de General. Animal.*, V. 1, p. 780, Bekker. En voici la traduction exacte: « Voir bien, c'est d'une part, voir de loin, d'autre

part, c'est distinguer nettement les différences des objets perçus. Ces deux facultés ne se trouvent pas toujours réunies dans le même individu. Car celui qui met sa main au-dessus de ses yeux, ou qui *regarde à travers un tuyau,* n'est ni plus ni moins pour cela en état de démêler les différences de couleurs, et cependant, il pourra voir des objets situés à de plus grandes distances. De là vient aussi que les *personnes placées dans des cavernes et des citernes voient quelquefois des étoiles.* » ὀρύγματα et surtout φρέατα sont des citernes souterraines ou des espèces de silos naturels creusés par des sources. Or, en Grèce, d'après le témoignage oculaire de M. le professeur Franz, ces cavités communiquent avec l'air et la lumière par un puits vertical, et ce puits s'élargit par en bas comme le goulot d'une bouteille. Pline dit (l. II, c. 14): « Altitudo cogit minores videri stellas; affixas cœlo Solis fulgor interdiu non cerni, quum æque ac noctu luceant: idque manifestum fiat *defectu Solis et prœaltis puteis.* » Cléomède (*Cycl. Theor.*, p. 83, Bake), ne parle point d'étoiles vues en plein jour, mais il suppose « que le soleil, vu du fond de citernes profondes, paraît agrandi, à cause de l'obscurité et de l'humidité de l'air.

(10) [page 47]. « We have ourselves heard it stated by a celebrated Optician, that the earliest circumstances which drew his attention to astronomy, was the regular appearance, at a certain hour, for several successive days, of a considerable star, through the shaft of a chimney. » John Herschel, *Outlines of Astron.*, § 61. Les ramoneurs que j'ai interrogés à ce sujet, se sont presque tous accordés à dire qu'ils n'avaient jamais vu d'étoile en plein jour, mais que, pendant la nuit, ils voyaient la voûte du ciel tout à fait proche, et que les étoiles leur paraissaient comme agrandies. Je m'abstiens de toute appréciation sur la connexité de ces deux illusions.

(11) [page 47]. Saussure, *Voyages dans les Alpes,* Neufchâtel, 1779, 4°, t. IV, § 2007, p. 199.

(12) [page 48]. Humboldt, *Essai sur la Géographie des Plantes,* p. 103; et *Voyage aux Régions équinox.*, t. I, p. 143 et 248.

(13) [page 49]. Humboldt dans la *Monatlicher Correspondenz zur Erd-und Himmels-Kunde* du baron de Zach, t. I, 1800, p. 396; et dans le *Voyage aux Régions équinox.*, t. I, p. 125.

« On croyait voir de petites fusées lancées dans l'air. Des points lumineux, élevés de 7 à 8 degrés, paraissaient d'abord se mouvoir dans le sens vertical; puis leur mouvement se convertissait en une véritable oscillation horizontale. Ces points lumineux étaient des images de plusieurs étoiles agrandies (en apparence) par les vapeurs, et revenant au même point d'où elles étaient parties. »

(14) [page 49]. Le prince Adalbert de Prusse, *Aus meinem Tagebuche*, 1847, p. 213. Le phénomène dont il s'agit ici, aurait-il quelque rapport avec les oscillations de la Polaire, de 10" à 12' d'amplitude, que Carlini a remarquées plusieurs fois, lorsqu'il observait les passages de la Polaire à l'aide de la lunette méridienne à fort grossissement de l'observatoire de Milan? Voyez Zach, *Correspondance astronom. et géogr.*, t. II, 1819, p. 84. Brandes ramène cette apparence à un effet de mirage (Gehler's *umgearb phys. Wörtebuch*, t. IV, p. 549). Un excellent observateur, le colonel Bayer, a vu aussi la lumière héliotropique présenter des oscillations horizontales.

(15) [page 52]. Dans ces derniers temps, Uytenbrock a fait connaître les services éminents de Constantin Huyghens et ses talents comme constructeur d'instrument optiques dans son *Oratio de fratribus Christiano atque Constantino Hugenio artis dioptricæ cultoribus*, 1838. Voyez aussi le savant directeur de l'observatoire de Leyde, le professeur Kaiser, dans les Schumacher's *Astron. Nachr.*, n° 592, p. 246.

(16) [page 52]. Arago dans l'*Annuaire* pour 1844, p. 381.

(17) [page 52]. « Nous avons placé ces grands verres, dit Dominique Cassini, tantôt sur un grand mât, tantôt sur la *tour de bois venue de Marly*; enfin nous les avons mis dans un tuyau monté sur un support en forme d'échelle à trois faces, ce qui a eu (dans la découverte des satellites de Saturne) le succès que nous en avions espéré. » (Delambre, *Hist. de l'Astron. moderne*, t. II, p. 785.) La longueur excessive de ces instruments d'optique rappelle les instruments des Arabes, les quarts de cercle de 58 mètres de rayon: l'arc divisé recevait l'image du Soleil dont la lumière pénétrait par un petit trou rond, à l'instar des gnomons. Un quart de cercle de ce genre avait été érigé à Samar-

cande; c'était probablement une imitation amplifiée du sextant de $18^{m},5$ de hauteur d'Al-Chokandi. Voyez Sédillot, *Prolégomènes des Tables d'Olough Beig.* 1847, p. LVII et CXXIX.

(18) [page 53]. Delambre, *Hist. de l'Astron. mod.*, t. II, p. 594. Un capucin, Schyrle van Rheita, écrivain mystique, mais très-versé dans les matières d'optique, avait déjà parlé dans son *Oculus Enoc et Eliæ* (Antverp., 1645), de la prochaine possibilité de construire des lunettes portant un grossissement de 4000 fois; il voulait s'en servir pour exécuter des cartes très-exactes de la Lune. Voyez aussi *Cosmos*, t. II, p. 450, note 48.

(19) [page 53]. *Edinb. Encyclopædia*, t. XX, p. 479.

(20) [page 54]. Struve *Études d'Astron. stellaire* 1847, note 59, p. 24. Quoique j'aie adopté partout les mesures françaises, j'ai conservé dans le texte les désignations de 40, 20 et 7 pieds anglais pour les longueurs des téleseopes d'Herschel. Non-seulement ces désignations sont plus commodes, mais encore elles ont reçu une espèce de consécration historique par les grands travaux du père et du fils, en Angleterre et à Feldhausen, au Cap de Bonne-Espérance.

(21) [page 54]. Schumacher's *Astron. Nachr.*, n°s 371 et 611. Cauchoix et Lerebours ont aussi construit des objectifs de plus de 34 centimètres de diamètre et de $7^{m},7$ de foyer.

(22) [page 55]. Struve, *Stellarum duplicium et multiplicium Mensuræ micrometricæ*, p. 2-44.

(23) [page 56]. M. Airy a décrit et comparé récemment les procédés qui ont été suivis dans la construction de ces deux télescopes; les proportions de l'alliage, la fusion du métal, les appareils de polissage, les appareils pour l'installation des miroirs. Voyez *Abstr. of the Astron. Soc.*, t. IX, n° 5 (march 1849). On y lit ce qui suit sur les effets du miroir de 6 pieds de diamètre ($1^{m},83$) de Lord Rosse (p. 120): « The Astronomer royal (Mr Airy) alluded to the impression made by the enormous light of the telescope: partly by the modifications produced in the appearances of nebulæ already figured, partly by the great number of stars seen even at a distance from the Milky Way, and partly from the prodigious brilliancy of *Saturn*. The account given by another astronomer of the appearance of *Jupiter* was, that it re-

sembled à coach-lamp in the telescope; and this well expresses the blaze of light which is seen in the instrument. » Voyez aussi Sir John Herschel, *Outlines of Astron.*, § 870: « The sublimity of the spectacle afforded by the magnificent reflecting telescope constructed by Lord Rosse of some of the larger globular clusters of nebulæ is declared by all, who have witnessed it, to be such as no words can express. This telescope has resolved or rendered resolvable multitudes of nebulæ which had resisted all inferior powers. »

(24) [page 56]. Delambre, *Hist. de l'Astron. mod.*, t. II. p. 255.

(25) [page 57]. Struve, *Mens. microm.*, p. XLIV.

(26) [page 57]. Schumacher's *Jahrbuch* für 1839, p. 100.

(27) [page 57]. « La *lumière atmosphérique diffuse* ne peut s'expliquer par le reflet des rayons solaires sur la surface de séparation des couches de différentes densités dont on suppose l'atmosphère composée. En effet, supposons le Soleil placé à l'horizon, les surfaces de séparation dans la direction du zénith seraient horizontales, par conséquent la réflexion serait horizontale aussi, et nous ne verrions aucune lumière au zénith. Dans la supposition des couches, aucun rayon ne nous arriverait par voie d'une première réflexion. Ce ne seraient que les réflexions multiples qui pourraient agir. Donc, pour expliquer la *lumière diffuse*, il faut se figurer l'atmosphère composée de molécules (sphériques par exemple) dont chacune donne une image du Soleil à peu près comme les boules de verre que nous plaçons dans nos jardins. L'air pur est bleu, parce que d'après Newton les molécules de l'air ont l'*épaisseur* qui convient à la réflexion des rayons bleus. Il est donc naturel que les petites images du Soleil que de tous côtés réfléchissent les molécules sphériques de l'air et qui sont la lumière diffuse, aient une teinte bleue; mais ce bleu n'est pas du bleu pur, c'est un blanc dans lequel le bleu prédomine. Lorsque le ciel n'est pas dans toute sa pureté et que l'air est mêlé de vapeurs visibles, la lumière diffuse reçoit beaucoup de blanc. Comme la lune est jaune, le bleu de l'air pendant la nuit est un peu verdâtre, c'est-à-dire mélangé de bleu et de jaune. » (Arago, *manuscrit* de 1847.)

(28) [page 57]. *D'un des effets des lunettes sur la visibilité des étoiles.* (Lettre de Mr. Arago à Mr. de Humboldt, en déc. 1847.)

« L'œil n'est doué que d'une sensibilité circonscrite, bornée. Quand la lumière qui frappe la rétine n'a pas assez d'intensité, l'œil ne sent rien. C'est par un manque d'intensité que beaucoup d'*étoiles*, même dans les nuits les plus profondes, échappent à nos observations. Les lunettes ont pour effet, *quant aux étoiles*, d'augmenter l'intensité de l'image. Le faisceau cylindrique de rayons parallèles venant d'une étoile, qui s'appuie sur la surface de la lentille objective et qui a cette surface pour base, se trouve considérablement resserré à la sortie de la lentille oculaire. Le diamètre du premier cylindre est au diamètre du second, comme la distance focale de l'objectif est à la distance focale de l'oculaire, ou bien comme le diamètre de l'objectif est au diamètre *de la portion d'oculaire* qu'occupe le faisceau émergent. Les intensités de lumière dans les deux cylindres en question (dans les deux cylindres incident et émergent) doivent être entre elles comme les étendues superficielles des bases. Ainsi la lumière émergente sera plus condensée, *plus intense* que la lumière naturelle tombant sur l'objectif, dans le rapport de la surface de cet objectif à la surface circulaire de la base du faisceau émergent. Le faisceau *émergent, quand la lunette grossit*, étant plus étroit que le faisceau cylindrique qui tombe sur l'objectif, il est évident que la pupille, quelle que soit son ouverture, recueillera plus de rayons par l'intermédiaire de la lunette que sans elle. La lunette augmentera donc toujours l'intensité de la lumière *des étoiles*.

« Le cas *le plus favorable*, quant à l'effet des lunettes, est évidemment celui où l'œil reçoit la totalité du faisceau émergent, le cas où ce faisceau a moins de diamètre que la pupille. Alors *toute la lumière* que l'objectif embrasse, concourt, par l'entremise du télescope, à la formation de l'image. A l'œil nu, au contraire, *une portion* seule de cette même lumière est mise à profit: c'est la petite portion que la surface de la pupille découpe dans le faisceau incident naturel. L'intensité de l'image télescopique d'une *étoile* est donc à l'intensité de l'image à l'œil nu, *comme la surface de l'objectif est à celle de la pupille*.

Ce qui précède est relatif à la visibilité d'un seul point, d'une seule étoile. Venons à l'observation d'un objet ayant des dimensions angulaires sensibles, à l'observation d'une *planète*. Dans les cas les plus favorables, c'est-à-dire lorsque la pupille reçoit la totalité du pinceau émergent, l'intensité de l'image *de chaque*

point de la planète se calculera par la proportion que nous venons de donner. La quantité *totale de lumière* concourant à former *l'ensemble* de l'image à l'œil nu, sera donc aussi à la *quantité totale de lumière* qui forme l'image de la planète à l'aide d'une lunette, comme la surface de la pupille est à la surface de l'objectif. Les intensités comparatives, non plus de points isolés, mais des deux images d'une planète, qui se forment sur la rétine à l'œil nu, et par l'intermédiaire d'une lunette, doivent évidemment *diminuer* proportionnellement aux *étendues superficielles* de ces deux images. Les dimensions *linéaires* des deux images sont entre elles comme le diamètre de l'objectif est au diamètre du faisceau émergent. Le nombre de fois que la *surface* de l'image amplifiée surpasse la *surface* de l'image à l'œil nu, s'obtiendra donc en divisant le carré du *diamètre* de *l'objectif* par le carré du *diamètre du faisceau émergent*, ou bien la *surface de l'objectif par la surface de la base circulaire du faisceau émergent.*

Nous avons déjà obtenu le rapport des *quantités totales de lumière* qui engendrent les deux images *d'une planète*, en divisant la surface de l'objectif *par la surface de la pupille.* Ce nombre est *plus petit* que le quotient auquel on arrive en divisant la *surface de l'objectif* par la *surface du faisceau émergent.* Il en résulte, quant aux planètes, qu'une lunette fait moins gagner en intensité de lumière, qu'elle ne fait perdre en agrandissant *la surface* des images sur la rétine: l'intensité de ces images doit donc aller continuellement en s'affaiblissant à mesure que le pouvoir amplificatif de la lunette ou du télescope s'accroît.

« L'atmosphère peut être considérée comme une planète à dimensions indéfinies. La portion qu'on en verra dans une lunette, subira donc aussi la *loi* d'affaiblissement que nous venons d'indiquer. Le *rapport* entre l'intensité de la lumière d'une *planète* et le champ de lumière atmosphérique à travers lequel on la verra, sera le même à l'œil nu et dans les lunettes de tous les grossissements, de toutes les dimensions. Les lunettes, *sous le rapport de l'intensité*, ne favorisent donc pas la visibilité *des planètes.*

« Il n'en est point ainsi des *étoiles.* L'intensité de l'image d'une étoile est plus forte avec une lunette qu'à l'œil nu; au contraire le champ de la vision, uniformément éclairé dans les deux cas

par la lumière atmosphérique, est plus clair à l'œil nu que dans la lunette. Il y a donc deux raisons, sans sortir des considérations d'intensité, pour que dans une lunette l'image de l'étoile prédomine sur celle de l'atmosphère, notablement plus qu'à l'œil nu.

« Cette prédominance doit aller graduellement en augmentant avec le grossissement. En effet, abstraction faite de certaine augmentation de diamètre de l'étoile, conséquence de divers effets de *diffraction* ou d'*interférences*, abstraction faite aussi d'une plus forte réflexion que la lumière subit sur les surfaces plus obliques des oculaires de très-courts foyers, *l'intensité de la lumière de l'étoile est constante* tant que l'ouverture de l'objectif ne varie pas. Comme on l'a vu, la *clarté du champ* de la lunette, au contraire, *diminue sans cesse* à mesure que le pouvoir amplificatif s'accroît. Donc, toutes autres circonstances restant égales, une étoile sera d'autant plus visible, sa prédominance sur la lumière du champ du télescope sera d'autant plus tranchée qu'on fera usage d'un grossissement plus fort. » (Arago, *manuscrit de* 1847.) — J'extrais encore ce qui suit de l'*Annuaire du Bureau des Longit. pour* 1846 (Notices scient. par M. Arago), p. 381 : « L'expérience a montré que pour le commun des hommes, deux espaces éclairés et contigus ne se distinguent pas l'un de l'autre, à moins que leurs intensités comparatives ne présentent, au minimum, une différence de 1/60. Quand une lunette est tournée vers le firmament, son champ semble uniformément éclairé : c'est qu'alors il existe, dans un plan passant par le foyer et perpendiculaire à l'axe de l'objectif, une *image indéfinie* de la région atmosphérique vers laquelle la lunette est dirigée. Supposons qu'un astre, c'est-à-dire un objet situé bien au delà de l'atmosphère, se trouve dans la direction de la lunette : son image ne sera visible qu'autant qu'elle augmentera de 1/60, au moins, l'intensité de la portion de l'image focale *indéfinie* de l'atmosphère, sur laquelle sa propre image *limitée* ira se placer. Sans cela, le champ visuel continuera à *paraître* partout de la même intensité.

(29) [page 59]. Arago a publié, pour la première fois, son explication de la scintillation, dans un appendice au 4e livre de mon *Voyage aux Régions équinoxiales*, t. I, p. 623. Je suis heureux de pouvoir enrichir le chapitre relatif à la vision naturelle et télescopique des éclaircissements qui suivent, et que je reproduis textuellement, d'après les motifs indiqués dans la page 215.

Des causes de la Scintillation des étoiles.

« Ce qu'il y a de plus remarquable dans le phénomène de la scintillation, c'est le changement de couleur. Ce changement est beaucoup plus fréquent que l'observation ordinaire ne l'indique. En effet, en agitant la lunette, on transforme l'image dans une ligne ou un cercle, et tous les points de cette ligne ou de ce cercle paraissent de couleurs différentes. C'est la résultante de la superposition de toutes ces images que l'on voit, lorsqu'on laisse la lunette immobile. Les rayons qui se réunissent au foyer d'une lentille, vibrent d'accord ou en désaccord, s'ajoutent ou se détruisent, suivant que les couches qu'ils ont traversées ont telle ou telle réfringence. L'ensemble des rayons rouges peut se détruire *seul*, si ceux de droite et de gauche et ceux de haut et de bas ont traversé des milieux inégalement réfringents. Nous avons dit *seul*, parce que la différence de réfringence qui correspond à la destruction du rayon rouge, n'est pas la même que celle qui amène la destruction du rayon vert, et réciproquement. Maintenant si des rayons rouges sont détruits, ce qui reste sera le blanc moins le rouge, c'est-à-dire du vert. Si le vert au contraire est détruit par *interférence*, l'image sera du blanc moins le vert, c'est-à-dire du rouge. Pour expliquer pourquoi les planètes à grand diamètre ne scintillent pas ou très-peu, il faut se rappeler que le disque peut être considéré comme une aggrégation d'étoiles ou de petits points qui scintillent isolément ; mais les images de différentes couleurs que chacun de ces points pris isolément donnerait, empiétant les unes sur les autres, formeraient du blanc. Lorsqu'on place un diaphragme ou un bouchon percé d'un trou sur l'objectif d'une lunette, les étoiles acquièrent un disque entouré d'une série d'anneaux lumineux. Si l'on enfonce l'oculaire, le disque de l'étoile augmente de diamètre, et il se produit dans son centre un trou obscur : si on l'enfonce davantage, un point lumineux se substitue au point noir. Un nouvel enfoncement donne naissance à un centre noir, etc. Prenons la lunette lorsque le centre de l'image est noir, et visons à une étoile qui ne scintille pas : le centre restera noir, comme il l'était auparavant. Si au contraire on dirige la lunette à une étoile qui scintille, on verra le centre de l'image lumineux et obscur par intermittence. Dans la position où le centre de l'image est

occupé par un point lumineux, on verra ce point disparaître et renaître successivement. Cette] disparition ou réapparition du point central est la preuve directe de l'*interférence* variable des rayons. Pour bien concevoir l'absence de lumière au centre de ces images dilatées, il faut se rappeler que les rayons régulièrement réfractés par l'objectif ne se réunissent et ne peuvent par conséquent *interférer* qu'au foyer: par conséquent les images dilatées que ces rayons peuvent produire, resteraient toujours pleines (sans trou). Si dans une certaine position de l'oculaire un trou se présente au centre de l'image, c'est que les rayons régulièrement réfractés *interfèrent* avec des rayons *diffractés* sur les bords du diaphragme circulaire. Le phénomène n'est pas constant, parce que les rayons qui interfèrent dans un certain moment, n'interfèrent pas un instant après, lorsqu'ils ont traversé des couches atmosphériques dont le pouvoir réfringent a varié. On trouve dans cette expérience la preuve manifeste du rôle que joue dans le phénomène de la scintillation l'inégale réfrangibilité des couches atmosphériques traversées par les rayons dont le faisceau est très-étroit.

« Il résulte de ces considérations que l'explication des scintillations ne peut être rattachée qu'aux phénomènes des *interférences lumineuses.* Les rayons des étoiles, après avoir traversé une atmosphère où il existe des couches inégalement chaudes, inégalement denses, inégalement humides, vont se réunir au foyer d'une lentille, pour y former des images d'intensité et de couleurs perpétuellement changeantes, c'est-à-dire des images telles que la scintillation les présente. Il y a aussi scintillation hors du foyer des lunettes. Les explications proposées par Galilei, Scaliger, Képler, Descartes, Hooke, Huygens, Newton et John Michell, que j'ai examinées dans un mémoire présenté à l'Institut en 1840 (*Comptes rendus,* t. X, p. 83), sont inadmissibles. Thomas Young, auquel nous devons les premières lois des interférences, a cru inexplicable le phénomène de la scintillation. La fausseté de l'ancienne explication par des vapeurs qui voltigent et déplacent, est déjà prouvée par la circonstance que nous voyons la scintillation des yeux, ce qui supposerait un déplacement d'une minute. Les ondulations des bords du Soleil sont de 4″ à 5″ et peut-être des pièces qui *manquent,* donc encore effet de l'interférence des rayons. » (*Extrait des manuscrits d'Arago,* 1847.)

(30) [page 60]. Arago, dans l'*Annuaire* pour 1831, p. 168.

(31) [page 61]. Aristote, *de Cœlo*, II, 8, p. 290, Bekker.

(32) [page 61]. *Cosmos*, t. II, p. 277.

(33) [page 61]. Causæ scintillationis, dans Képler, *de Stella nova in pede Serpentarii*, 1606, c. 18, p. 92-97.

(34) [page 61]. Lettre de M. Garcin, D[r] en médecine, à M. de Réaumur, dans l'*Hist. de l'Académie royale des Sciences*, année 1743, p. 28-32.

(35) [page 63]. Humboldt, *Voyage aux Régions équinox.*, t. I, p. 511 et 512; t. II, p. 202-208, et *Tableaux de la nature*, 3[e] éd., 1851, t. I, p. 25 et 217 de la trad. franç. « En Arabie, dit Garcin, de même qu'à Bender-Abassi, port fameux du golfe Persique, l'air est parfaitement serein presque toute l'année. Le printemps, l'été et l'automne se passent, sans qu'on y voie la moindre rosée. Dans ces mêmes temps tout le monde couche dehors sur le haut des maisons. Quand on est ainsi couché, il n'est pas possible d'exprimer le plaisir qu'on prend à contempler la beauté du ciel, l'éclat des étoiles. C'est une lumière pure, ferme et éclatante, sans étincellement. Ce n'est qu'au milieu de l'hiver que la scintillation, quoique très-faible, s'y fait apercevoir. » Garcin, dans l'*Hist. de l'Académie des Sciences*, 1743, p. 30.

(36) [page 63]. Bacon dit, à propos des illusions qui proviennent de la propagation successive du son et de la lumière: « Atque hoc cum similibus nobis quandoque dubitationem peperit plane monstrosam; videlicet, utrum cœli sereni et stellati facies ad idem tempus cernatur, quando vere existit, an potius aliquanto post; et utrum non sit (quatenus ad visum cœlestium) non minus tempus verum et tempus visum, quam locus verus et locus visus, qui notatur ab astronomis in parallaxibus. Adeo incredibile nobis videbatur, species sive radios corporum cœlestium, per tam immensa spatia milliarium, subito deferri posse ad visum; sed potius debere eas in tempore aliquo notabili delabi. Verum illa dubitatio (quoad majus aliquod intervallum temporis inter tempus verum et visum) postea plane evanuit, reputantibus nobis..... » *The Works of Francis Bacon*, t. I, Lond. 1740 (*Novum Organum*), p. 371. Il revient ensuite sur ses pas, absolument comme

les anciens, et rejette les aperçus si vrais qu'il vient à peine d'énoncer. — Cf. Somerville, *the Connexion of the Physical Sciences*, p. 36, et *Cosmos*, t. I, p. 126.

(37) [page 64]. Voyez l'exposition de la méthode d'Arago dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1842, p. 337-343. « L'observation attentive des phases d'Algol à six mois d'intervalle servira à déterminer directement la vitesse de la lumière de cette étoile. Près du maximum et du minimum le changement d'intensité s'opère lentement; il est, au contraire, rapide à certaines époques intermédiaires entre celles qui correspondent aux deux états extrêmes, quand Algol, soit en diminuant, soit en augmentant d'éclat, passe par la troisième grandeur. »

(38) [page 64]. Newton, *Opticks*, 2e édit. (Lond. 1718), p. 325: « Light moves from the Sun to us 7 or 8 minutes of time. » Newton compare la vitesse de la lumière à celle du son (370 mètres par seconde). Comme il admet, d'après les observations des éclipses des satellites de Jupiter (la mort de ce grand homme précéda d'environ 6 mois la découverte de l'aberration par Bradley), que la lumière vient du Soleil à la Terre en 7m 30s, parcourant ainsi un espace qu'il évalue à 70 millions de milles anglais, il s'ensuit que la vitesse de la lumière serait de 155555 5/9 milles anglais par seconde. La réduction de ces milles en milles géographiques de 15 au degré de l'équateur présente quelque incertitude, selon que l'on admet telle ou telle évaluation des dimensions du globe terrestre. Le mille anglais vaut 5280 pieds anglais ou 1609m,31449. Si on admet les résultats de Bessel pour l'ellipsoïde terrestre (*Éphémer. de Berlin* pour 1852), on trouve, avec les données de Newton, une vitesse de 33736 milles géographiques, ou de 25034 myriamètres. Mais Newton supposait la parallaxe du Soleil de 12″. En calculant avec la vraie parallaxe déterminée par Encke, d'après les passages de Vénus, à savoir 8″,57116, la distance parcourue devient plus grande que Newton ne l'avait supposée, et l'on trouve 47232 milles géographiques ou 35048 myriamètres; c'est-à-dire une vitesse trop forte, tandis qu'elle était trop faible tout à l'heure. Un fait bien remarquable, qui a pourtant échappé à Delambre (*Hist. de l'Astronomie moderne*, t. II, p. 653), c'est que les 7m 30s, assignées par Newton pour le temps que la lumière met à venir du Soleil à la Terre, se rapprochent beaucoup de la vérité;

l'erreur est de 47ˢ seulement, tandis que les autres astronomes adoptaient des évaluations tout à fait exagérées. Depuis la découverte de Rœmer, en 1675, jusqu'au commencement du XVIIIᵉ siècle, ces évaluations ont oscillé entre 11ᵐ et 14ᵐ 10ˢ. Sans doute celle de Newton était basée sur des observations anglaises plus récentes du 1ᵉʳ satellite. Le premier mémoire où Rœmer, élève de Picard, a consigné sa découverte, date du 22 novembre 1675. Il avait trouvé, par 40 immersions et émersions des satellites de Jupiter, « un retardement de lumière de 22 minutes pour l'intervalle qui est le double de celui qu'il y a d'ici au Soleil » (*Mémoires de l'Acad.*, 1666-1699, t. X, 1730, p. 400). Cassini ne nia point le fait du retardement; mais il en contesta la valeur indiquée, par la raison, d'ailleurs complètement erronée, que chaque satellite donne un résultat différent. Dix-sept ans après que Rœmer eût quitté Paris, du Hamel, secrétaire de l'Académie, admettait 10 à 11 minutes, tout en citant Rœmer (*Regiæ Scientiarum Academiæ Historia*, 1698, p. 145); mais nous savons, par Peter Horrebow (*Basis Astronomiæ sive triduum Rœmerianum*, 1735, p. 122-129), que Rœmer voulait publier, en 1704, 6 ans avant sa mort, un ouvrage sur la vitesse de la lumière, et qu'il tenait fermement pour son premier nombre de 11ᵐ. Il en est de même de Huyghens (*Tract. de Lumine*, c. I, p. 7). Cassini procède autrement; il trouve 7ᵐ 5ˢ par le premier satellite, 14ᵐ 12ˢ par le second, et admet, dans ses tables, 14ᵐ 10ˢ *pro peragrando diametri semissi*. L'erreur allait donc en croissant. (Cf. Horrebew, *Triduum*, p. 129; Cassini, *Hypothèses et Satellites de Jupiter* dans les *Mém. de l'Acad.*, 1666-1699, t. VII, p. 435 et 475; Delambre, *Hist. de l'Astron. mod.*, t. II, p. 751 et 782; du Hamel, *Physica*, p. 435.)

(39) [page 64]. Delambre, *Hist. de l'Astron. mod.*, t. II, p. 653.

(40) [page 64]. *Reduction of Bradley's observations at Kew and Wansted*, 1836, p. 22; Schumacher's *Astron. Nachr.*, t. XIII, 1836, nº 309; *Miscellaneous Works and Correspondence of the Rev. James Bradley* by prof. Rigaud, Oxford, 1832. — Pour les théories de l'aberration basées sur l'hypothèse des ondulations de l'éther, voyez Doppler, dans les *Abhandl. der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften*, 5ᵉ série, t. III, p. 745-765. Voici un fait capital pour l'histoire des grandes découvertes astronomiques. Plus d'un demi-siècle avant que Bradley eût découvert

l'explication et la loi de l'aberration des fixes, Picard avait remarqué, très-probablement dès 1667, que les déclinaisons de la Polaire présentaient une variation périodique d'environ 20", « dont la parallaxe ni la réfraction ne pouvaient rendre compte, et qui paraissait subir des changements très-réguliers d'une saison à l'autre. » (Delambre, *Hist. de l'Astron. mod.*, t. II, p. 616). Picard était donc sur la voie qui devait conduire à la découverte de la vitesse de la lumière directe, avant même que son élève Rœmer eût fait connaître la vitesse de la lumière réfléchie.

(41) [page 65]. Schumacher's *Astron. Nachr.*, t. XXI, 1844, n° 484; Struve, *Études d'Astron. stellaire*, p. 103 et 107. (Voyez aussi *Cosmos*, t. I, p. 126). Dans l'*Annuaire* pour 1842, p. 287, la vitesse de la lumière est évaluée à 30800 myriamètres (77000 lieues de 4000 mètres par seconde). Cette évaluation est celle qui se rapproche le plus de celle de Struve. La vitesse déterminée à l'observatoire de Poulkova est, en effet, de 30831 myriamètres. Quant à la différence, un instant supposée, entre la vitesse de la lumière de la Polaire et de son compagnon, et aux doutes que Struve lui-même a élevés au sujet de ses premières conclusions, voyez Mædler, *Astronomie*, 1849, p. 393. William Richardson a donné une évaluation plus grande pour le temps que la lumière emploie à venir du Soleil à la Terre; il donne 8' 19", 28, d'où résulte une vitesse de 30737 myriamètres à la seconde. (*Mem. of the Astron. Society*, t. IV, 1re part., p. 68.)

(42) [page 66]. Fizeau a exprimé son résultat en lieues de 25 au degré du méridien, c'est-à-dire de $4444^{m},44$; la vitesse serait de 70948 de ces lieues (*Comptes rendus*, t. XXIX, p. 92). Dans Moigno, *Répert d'Optique moderne*, 3e part., p. 1162, le résultat indiqué est de 70843 lieues de 25 au degré; c'est celui qui se rapproche le plus de celui de Bradley, d'après les réductions de Busch.

(43) [page 66]. « D'après la théorie mathématique dans le système des ondes, les rayons de différentes couleurs, les rayons dont les ondulations sont inégales, doivent néanmoins se propager dans l'Éther avec la même vitesse. Il n'y a pas de différence à cet égard entre la propagation des ondes sonores, lesquelles se propagent dans l'air avec la même rapidité. Cette égalité de propagation des ondes sonores est bien établie expé-

rimentalement par la similitude d'effet que produit une musique donnée à toutes distances du lieu où l'on l'exécute. La principale difficulté, je dirai l'unique difficulté qu'on eût élevée contre le système des ondes, consistait donc à expliquer comment la vitesse de propagation des rayons de différentes couleurs dans des corps différents pouvait être dissemblable et servir à rendre compte de l'inégalité de réfraction de ces rayons ou de la dispersion. On a montré récemment que cette difficulté n'est pas insurmontable; qu'on peut constituer l'Éther dans les corps inégalement denses, de manière que des rayons à ondulations dissemblables s'y *propagent* avec des vitesses inégales: reste à déterminer si les conceptions des géomètres à cet égard sont conformes à la nature des choses. Voici les amplitudes des ondulations déduites expérimentalement d'une série de faits relatifs aux interférences:

Violet. . . .	0mm,000423
Jaune. . . .	0mm,000551
Rouge. . . .	0mm,000620

La vitesse de transmission des rayons de différentes couleurs dans les espaces célestes est la même dans le système des ondes et tout à fait indépendante de l'étendue ou de la vitesse des ondulations. » Arago, *Manuscrit* de 1849. Voyez aussi l'*Annuaire* pour 1842, p. 333-336. — Les longueurs d'ondes de l'Éther et leur vitesse de vibration déterminent les caractères des rayons lumineux. Pour les rayons les plus réfrangibles (le violet), le nombre des ondulations est de 662 billions par seconde. Les rayons rouges exécutent des vibrations plus lentes et d'une amplitude plus grande; le nombre des vibrations est de 451 billions par seconde.

(44) [page 66]. « J'ai prouvé, il y a bien des années, par des observations directes que les rayons des étoiles vers lesquelles la Terre marche, et les rayons des étoiles dont la Terre s'éloigne, se réfractent exactement de la même quantité. Un tel résultat ne peut se concilier *avec la théorie de l'émission* qu'à l'aide d'une addition importante à faire à cette théorie: il faut admettre que les corps lumineux émettent des rayons de toutes les vitesses, et que les seuls rayons d'une vitesse déterminée sont visibles, qu'eux seuls produisent dans l'œil la sensation de lu-

mière. Dans la théorie de l'émission, le rouge, le jaune, le vert, le bleu, le violet solaires sont respectivement accompagnés de rayons pareils, mais obscurs par défaut ou par excès de vitesse. A plus de vitesse correspond une moindre réfraction, comme moins de vitesse entraine une réfraction plus grande. Ainsi chaque rayon rouge visible est accompagné de rayons obscurs de la même nature, qui se réfractent les uns plus, les autres moins que lui: ainsi *il existe des rayons dans les stries noires* de la portion rouge du spectre; la mêmo chose doit être admise des stries situées dans les portions jaunes, vertes, bleues et violettes. » Arago, *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. XVI, 1843, p. 404. Voyez aussi t. VIII, 1839, p. 326, et Poisson, *Traité de mécanique*, 2e éd. 1833, t. I, § 168. D'après les vues propres à la théorie des ondulations, les astres émettent des rayons de lumière dont les vitesses d'oscillations transversales présentent une variété infinie.

(45) [page 67]. Wheatstone dans les *Philos. Transact. of the Royal Society* for 1834, p. 589 et 591. D'après les recherches décrites dans ce mémoire (p. 591), il paraît que l'œil est capable d'apprécier des impressions lumineuses « dont la durée ne dépasso point un millionième de seconde. » Sur l'hypothèse, mentionnée dans le texte, d'après laquelle la lumière polaire aurait de l'analogie avec la lumière du Soleil, voyez Sir John Herschel, *Results of Astron. Observ. at the Cape of Good Hope*, 1847, p. 351. Arago a fait mention, dans les *Comptes rendus*, t. VII, 1838, p. 956, d'un appareil rotatoire de Wheatstone, perféctionné par Bréguet, qu'il se proposait d'employer pour décider entre la théorie de l'émission et celle des ondulations, en partant de ce fait que, dans la première hypothèse, la lumière doit aller plus lentement dans l'air que dans l'eau, tandis que le contraire doit avoir lieu dans la seconde (*Comptes rendus* pour 1850, t. XXX, p. 489-495 et 556).

(46) [page 68]. Steinheil, dans les *Astron. Nachr.*, nº 679 (1849), p. 97-100; Walker dans les *Proceedings of the American Philosophical Society*, t. V, p. 128. (Voyez les propositions plus anciennes de Pouillet dans les *Comptes rendus*, t. XIX, p. 1386.) Des recherches ingénieuses et plus nouvelles encòre de Mitcholl, directeur do l'observatoire de Cincinnati (Gould's *Astron. journal*, déc. 1849, p. 3: On the velocity of the electr. wave), et de

Fizeau et Gounelle, à Paris, en avril 1850, s'éloignent à la fois des résultats de Wheatstone et de ceux de Walker. Les expériences mentionnées dans les *Comptes rendus*, t. XXX, p. 439, révèlent des différences frappantes entre les conducteurs de différentes natures, tels que le fer et le cuivre.

(47) [page 68]. Voyez Poggendorff, dans ses *Annalen*, t. LXXIII, 1848, p. 337, et Pouillet, *Comptes rendus*, t. XXX, p. 501.

(48) [page 68]. Riess, dans les *Poggend. Ann.*, t. 78, p. 433. — Sur le rôle de conducteur refusé à la partie du globe terrestre interposée, voyez les importantes recherches de Guillemin *Sur le courant dans une pile isolée et sans communication entre les pôles*, dans les *Comptes rendus*, t. XXIX, p. 521. « Quand on remplace un fil par la terre dans les télégraphes électriques la terre sert plutôt de réservoir commun que de moyen d'union entre les deux extrémités du fil. »

(49) [page 69]. Mædler, *Astron.*, p. 380. Laplace, d'après Moigno, *Répertoire d'Optique moderne*, 1847, t. I, p. 72: « Selon la théorie de l'émission, on croit pouvoir démontrer que si le diamètre d'une étoile fixe était 250 fois plus grand que celui du Soleil, sa densité restant la même, l'attraction exercée à sa surface détruirait la quantité de mouvement de la molécule lumineuse émise, de sorte qu'elle serait invisible à de grandes distances. » Mais si on attribue, avec William Herschel, un diamètre apparent de 0",1 à Arcturus, il en résulte que le diamètre réel de cette étoile est 11 fois seulement plus grand que celui du Soleil (*Cosmos*, t. I, p. 111-112 et 353). Il faudrait d'ailleurs que la vitesse de la lumière variât avec la grandeur des astres qui l'émettent: c'est ce que l'observation n'a nullement confirmé. Arago dit, dans les *Comptes rendus*, t. VIII, p. 326: « Les expériences sur l'égale déviation prismatique des étoiles vers lesquelles la Terre marche ou dont elle s'éloigne, rend compte de l'égalité de vitesse apparente des rayons de toutes les étoiles. »

(50) [page 70]. Ératosthène, *Catasterismi*, éd. Schaubach, 1795, et *Eratosthenica*, éd. God. Bernhardy, 1822, p. 110-116. Dans cette description, on distingue les étoiles en λαμπρό (μεγάλοι) et en ἀμαυροί (c. 2, 11, 41). Telle est aussi la division adoptée par Ptolémée. Quant aux étoiles qu'il appelle ἀμόρφωτοι, ce sont celles qui n'appartiennent à aucune constellation.

(51) [page 71]. Ptolémée, *Almageste*, éd. Halma, t. II, p. 40. On lit aussi dans les *Catasterismi* d'Érathostène, c. 22, p. 18 : ἡ δὲ κεφαλὴ καὶ ἡ ἅρπη ἄναπτος ὁρᾶται, δια δὲ νεφελώδους συστροφῆς δοκεῖ τισιν ὁρᾶσθαι. De même dans Geminus, *Phæn.*, éd. Hilder, 1590, p. 46.

(52) [page 71]. *Cosmos*, t. II, p. 281 et 452, note 63.

(53) [page 71]. Muhamedis Alfragani *Chronologica et Astron. Elementa*, 1590, c. XXIV, p. 118.

(54) [page 72]. On trouve, dans certains manuscrits de l'Almageste, l'indication de ces ordres de grandeur intermédiaires; car plusieurs désignations de grandeur sont accompagnées des mots μείζων et ἐλάσσων (*Cod. Paris.*, n° 2389). Tycho exprimait ces grandeurs intermédiaires par des points.

(55) [page 72]. Sir John Herschel, *Outlines of Astron.*, p. 520-527.

(56) [page 73]. Il s'agit du sextant à miroirs employé pour déterminer l'éclat relatif des étoiles; je m'en suis servi, sous les tropiques, beaucoup plus souvent que des diaphragmes, qui m'avaient été cependant recommandés par Borda. Je commençai ce travail sous le beau ciel de Cumana, et je le continuai plus tard, dans l'hémisphère austral, jusqu'en 1803. Mais alors les circonstances n'étaient plus aussi favorables, quoique je fusse placé sur les plateaux des Andes et sur les rivages de la mer du Sud, près de Guayaquil. Dans l'échelle arbitraire que je m'étais construite, j'avais représenté par 100 Sirius, la plus brillante de toutes les étoiles; les étoiles do 1[re] grandeur allaient de 100 à 80; celles de 2[e], de 80 à 60; celles de 3[e], de 60 à 45; celles de 4[e], de 45 à 30 ; et enfin les étoiles de 5[e] grandeur se trouvaient comprises entre les nombres 30 et 20 de mon échelle. Je révisai principalement les constellations du Navire et de la Grue, où je croyais pouvoir trouver des changements survenus depuis l'époque de La Caille. En combinant avec soin mes diverses évaluations, et en multipliant les termes de comparaison, il me sembla que l'éclat de Sirius surpassait celui de Canopus, dans le même rapport que l'éclat de α du Centaure surpasse celui d'Achernar. L'échelle arbitraire dont je me suis servi s'oppose à ce qu'on puisse comparer immédiatement mes résultats à ceux que sir John Herschel a publiés depuis 1838. Voyez mon *Recueil d'Observ. astron.*, t. I, p. LXXI, et ma *Relat. hist. du Voyage aux*

Régions équinox., t. I, p. 518 et 624. Voyez aussi la *Lettre de M. de Humboldt à M. Schumacher*, en février 1839, dans les *Astron. Nachr.*, n° 374. Il est dit dans cette lettre: « M. Arago, qui possède des moyens photométriques entièrement différents de ceux qui ont été publiés jusqu'ici, m'avait rassuré sur la partie des erreurs qui pouvaient provenir du changement d'inclinaison d'un miroir étamé sur la face intérieure. Il blâme d'ailleurs le principe de ma méthode et le regarde comme peu susceptible de perfectionnement, non-seulement à cause de la différence des angles entre l'étoile vue directement et celle qui est amenée par réflexion, mais surtout parce que le résultat de la mesure d'intensité dépend de la partie de l'œil qui se trouve en face de l'oculaire. Il y a erreur lorsque la pupille n'est pas très-exactement à la hauteur de la limite inférieure de la partie non étamée du petit miroir. »

(57) [page 73]. Cf. Steinheil, *Elemente der Helligkeits-Messungen am Sternenhimmel*, Munich, 1836 (Schumacher's *Astron. Nachr.*, n° 609), et J. Herschel, *Results of astronomical Observations made during the years* 1834-1838, *At the Cape of Good Hope*, Lond., 1847, p. 353-357. En 1846, Seidel a déterminé, avec le photomètre de Steinheil, la quantité de lumière de plusieurs étoiles de première grandeur qui s'élèvent à une hauteur suffisante dans nos climats. Il prend Véga pour unité et trouve les résultats suivants:

Sirius.	5,13
Rigel.	1,30
Véga.	1,00
Arcturus.	0,84
La Chèvre,	0,83
Procyon.	0,71
L'Épi.	0,49
Ataïr.	0,40
Aldébaran.	0,36
Deneb.	0,35
Régulus.	0,34
Pollux.	0,30

L'éclat de Rigel paraît aller en croissant et Béteigeuse manque dans le tableau, parce qu'elle est variable: sa variabilité s'est principalement décelée entre les années 1836 et 1839 (*Outlines*, p. 545).

(58) [page 74]. Voyez, sur les bases numériques des résultats photométriques, 4 tables de Sir John Herschel qui se trouvent dans les *Observations at the Cape*, p. 341, 367-371 et 440, et dans les *Outlines of Astron.*, p. 522-525 et 645-646. On peut consulter, pour une simple série des étoiles rangées dans l'ordre de leurs éclats relatifs, mais sans indications numériques, le *Manual of scient. Enquiry prepared for the use of the R. Navy*. 1849, p. 12.

(59) [page 74]. Argelander, *Durchmusterung des nördll Himmels* zwischen 45° und 80° Decl., 1846, p. XXIV-XXVI; Sir John Herschel, *Observations at the Cape*, p. 327, 340 et 365.

(60) [page 74]. J. Herschel, *ibid.*, p. 304 et *Outlines*, p. 522.

(61) [page 74]. *Philos. Transact.*, t. LVII, for the year 1767, p. 234.

(62) [page 75]. Wollaston dans les *Philos. Transact.*, for 1829, p. 27; Herschel, *Outlines*, p. 553. La comparaison faite par Wollaston, entre la lumière du Soleil et celle de la Lune, date de 1799; elle est basée sur les ombres projetées par la lumière des bougies, tandis que dans les recherches de 1826 et 1827 sur le Soleil et Sirius, on a recours à des images formées par réflexion, sur une boule de verre. Les premières comparaisons photométriques entre le Soleil et la Lune diffèrent beaucoup des résultats que j'ai cités ici. En se fondant sur des aperçus théoriques, Michell et Euler avaient trouvé 450000 et 374000. D'après des mesures opérées à l'aide des ombres de la flamme des bougies, Bouguer trouvait seulement 300000. Lambert affirme que Vénus, à son maximum d'éclat, est encore 3000 fois plus faible que la pleine Lune. D'après Steinheil, le Soleil devrait être 3286500 fois plus éloigné qu'il ne l'est réellement, pour que son éclat fût réduit pour nous à celui d'Arcturus (Struve, *Stellarum compositarum Mensuræ micrometicæ*, p. CLXIII); et l'éclat apparent d'Arcturus, au dire de John Herschel, est seulement la moitié de celui de Canopus (Herschel, *Observ. at the Cape*, p. 34). Toutes ces relations photométriques, et surtout l'importante comparaison de la lumière du Soleil avec la lumière cendrée de la Lune, si variable suivant les positions de notre satellite par rapport au corps éclairant, la Terre, méritent bien de devenir l'objet de recherches définitives et plus approfondies.

(63) [page 75]. *Outlines of Astron.*, p. 553; *Astron. Observ. at the Cape*, p. 363.

(64) [page 76]. William Herschel, *on the Nature of the Sun and Fixed Stars*, dans les *Philos. Transact.* for 1795, p. 62, et *on the Changes that happen to the Fixed Stars* dans les *Philos. Transact.* for 1796, p. 186. Cf. aussi Sir John Herschel, *Observ. at the Cape*, p. 350-352.

(65) [page 76]. Extrait d'une lettre de M. Arago à M. de Humboldt (mai 1850).

1° *Mesures photométriques.*

« Il n'existe pas de photomètre proprement dit, c'est-à-dire d'instrument donnant l'intensité d'une lumière isolée; le photomètre de Leslie, à l'aide duquel il avait eu l'audace de vouloir comparer la lumière du Soleil, par des actions calorifiques, est complètement défectueux. J'ai prouvé, en effet, que ce prétendu photomètre monte, quand on l'expose à la lumière du Soleil, qu'il descend sous l'action de la lumière de feu ordinaire, et qu'il reste complètement stationnaire lorsqu'il reçoit la lumière d'une lampe d'Argand. Tout ce qu'on a pu faire jusqu'ici, c'est de comparer entre elles deux lumières en presence, et cette comparaison n'est même à l'abri de toute objection que lorsqu'on ramène ces deux lumières à l'égalité par un affaiblissement graduel de la lumière la plus forte. C'est comme critérium de cette égalité que j'ai employé les anneaux colorés. Si l'on place l'une sur l'autre deux lentilles d'un long foyer, il se forme autour de leur point de contact des anneaux colorés tant par voie de réflexion que par voie de transmission. Les anneaux réfléchis sont complémentaires en couleur des anneaux transmis; ces deux séries d'anneaux se neutralisent mutuellement quand les deux lumières qui la forment et qui arrivent simultanément sur les deux lentilles sont égales entre elles.

« Dans le cas contraire, on voit des traces ou d'anneaux réfléchis ou d'anneaux transmis, suivant que la lumière qui forme les premiers est plus forte ou plus faible que la lumière à laquelle on doit les seconds. C'est dans ce sens seulement que les anneaux colorés jouent un rôle dans les mesures de la lumière auxquelles je me suis livré. »

2° *Cyanomètre.*

« Mon Cyanomètre est une extension de mon Polariscope. Ce dernier instrument, comme tu sais, se compose d'un tube fermé à l'une de ses extrémités par une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe de 5 millimètres d'épaisseur, et d'un prisme doué de la double réfraction, placé du côté de l'œil. Parmi les couleurs variées que donne cet appareil, lorsque de la lumière polarisée le traverse, et qu'on fait tourner le prisme sur lui-même, se trouve, par un heureux hasard, la nuance du bleu de ciel. Cette couleur bleue fort affaiblie, c'est-à-dire très-mélangée de blanc, lorsque la lumière est presque neutre, augmente d'intensité progressivement, à mesure que les rayons qui pénètrent dans l'instrument renferment une plus grande proportion de rayons polarisés.

« Supposons donc que le Polariscope soit dirigé sur une feuille de papier blanc; qu'entre cette feuille et la lame de cristal de roche il existe une pile de plaques de verre susceptible de changer d'inclinaison, ce qui rendra la lumière éclairante du papier plus ou moins polarisée, la couleur bleue fournie par l'instrument va en augmentant avec l'inclinaison de la pile, et l'on s'arrête lorsque cette couleur paraît la même que celle de la région de l'atmosphère dont on veut déterminer la teinte cyanométrique, et qu'on regarde à l'œil nu immédiatement à côté de l'instrument. La mesure de cette teinte est donnée par l'inclinaison de la pile. Si cette dernière partie de l'instrument se compose du même nombre de plaques et d'une même espèce de verre, les observations faites dans divers lieux seront parfaitement comparables entre elles. »

(66) [page 76]. Argelander, *De Fide Uranometriæ Bayeri*, p. 14-23. « In eadem classe littera prior majorem splendorem nullo modo indicat » (§ 9). Les désignations de Bayer ne prouvent donc point que Castor ait été, en 1603, plus brillant que Pollux.

(67) [page 83]. *Cosmos*, t. III, p. 33, et notes 78 et 79.

(68) [page 84]. *Cosmos*, t. I, p. 144 et 367, n. 44.

(69) [page 85]. On the space-penetrating power of telescopes, dans sir John Herschel, *Outlines of Astron.*, § 803.

(70) [page 86]. Je ne saurais condenser en une seule note toutes les raisons sur lesquelles les vues d'Argelander sont fondées. Il me suffira de donner ici un extrait de sa correspondance avec moi.

« Il y a quelques années (en 1843), vous aviez invité le capitaine Schwinck à déterminer, d'après sa *Mappa cœlestis*, le nombre de toutes les étoiles que la voûte céleste nous présente, depuis la 1re jusqu'à la 7e grandeur inclusivement. Dans l'espace comprise entre — 30° et le pôle nord, il a trouvé 12148 étoiles: par conséquent, si nous supposons que l'accumulation soit la même dans le reste du ciel, c'est-à-dire depuis — 30° jusqu'au pôle sud, il y aurait 16200 étoiles de ces diverses grandeurs sur tout le firmament. Cette évaluation me paraît très-voisine de la vérité. On sait que si l'on se borne à considérer les étoiles en masse, chaque ordre de grandeur contient environ trois fois plus d'étoiles que l'ordre précédent (Struve, *Catalogus Stellarum duplicium*, p. xxxiv; Argelander, *Bonner Zonen*, p. xxvi). Or j'ai relevé, dans mon *Uranométrie*, 1441 étoiles de 6e grandeur au nord de l'équateur; il suit de là qu'il y en aurait 3000 environ sur le ciel entier. Mais les étoiles de 6-7e grandeur n'y sont point comprises, et cependant, quand on ne veut tenir compte que des ordres entiers, il faudrait adjoindre les étoiles de 6-7e grandeur à celles de 6e. Je crois qu'on peut porter leur nombre à 1000, et qu'il faut compter dès lors 4000 étoiles de 6e grandeur. La règle ci-dessus donnera donc 12000 étoiles de l'ordre suivant, c'est-à-dire de 7e grandeur, et 18000 étoiles, depuis la 1re jusqu'à la 7e grandeur inclusivement. Je me rapproche encore plus du nombre donné par Schwinck, en employant d'autres considérations sur le nombre des étoiles de 7e grandeur que j'ai enregistrées dans mes zones. J'en ai observé 2251; mais il faut tenir compte, bien entendu, de celles qui ont été observées plus d'une fois et de celles qui m'ont échappé probablement (p. xxvi). En procédant ainsi, je trouve qu'il doit y avoir 2340 étoiles de 7e grandeur, depuis 45° jusqu'à 80° de déclinaison boréale, et près de 17000 pour tout le ciel. — Dans la *Description de l'Observatoire de Poulkova*, p. 268, Struve porte à 13400 le nombre des étoiles des 7 premiers ordres qui se trouvent comprises entre — 15° et + 90°, c'est-à-dire dans la région révisée par lui; il en résulterait un nombre de 21300 pour tout le ciel. Dans la préface du *Catal. e zonis Regiomontanis*

ded., p. XXXII, Struve trouve, de — 15° à + 15°, en employant le calcul des probabilités, 3903 pour le nombre des étoiles de 1re à 7e grandeur, et, par suite, 15050 pour le ciel entier. Ce dernier nombre est trop faible, parce que Bessel attribuait aux belles étoiles des grandeurs plus faibles que moi; la différence est à peu près d'une demi-grandeur. Il ne s'agit ici que d'obtenir une évaluation moyenne, et on peut, à mon gré, adopter le nombre de 18000 pour les étoiles de 1re à 7e grandeur. Dans le passage des *Outlines of Astronomy* que vous me citez, sir John Herschel ne parle que des étoiles déjà cataloguées: The whole number of stars already registered down to the seventh magnitude, inclusive, amounting to from 12000 to 15000. Quant aux étoiles plus faibles de 8e et de 9e grandeur, Struve a compté dans la zone de — 15° à + 15°: 10557 étoiles de 8e grandeur, 57739 étoiles de 9e grandeur; par conséquent, on aura, dans le ciel entier, 40800 étoiles de 8e, et 145800 étoiles de 9e grandeur. D'après cela nous aurions, de la 1re à la 9e grandeur inclusivement, 15100 + 40800 + 145800 = 201700 étoiles. Struve est arrivé à ces évaluations en comparant avec soin des zones ou des parties de zones qui répondent à des régions analogues dans le ciel, et en prenant toujours pour guide une saine théorie des probabilités. Il s'agissait, en effet, dans ces recherches, de conclure le nombre des étoiles réellement existantes dans le ciel, en tenant compte des étoiles qui ont été plusieurs fois observées et reproduites dans différentes zones, et de celles qui n'y ont été marquées qu'une seule fois. Ses calculs méritent assurément une grande confiance, car ils sont basés sur des nombres considérables. — L'ensemble des zones de Bessel, comprises entre — 15° et + 45°, contient environ 61000 étoiles, déduction faite des étoiles observées plusieurs fois et des étoiles de 9-10e grandeur. De là on peut conclure 101500 étoiles environ pour cette partie du ciel, si on tient compte du nombre probable de celles qui ont échappé à l'observation. Mes zones s'étendent de + 45° à + 80°; elles comprennent environ 22000 étoiles (*Durchmursterung des nördl. Himmels*, p. XXV); il faut en retrancher à peu près 3000 étoiles de 9-10e grandeur; reste 19000. Or mes zones sont un peu plus riches que celles de Bessel; je crois donc ne pas devoir supposer plus de 28500 étoiles réellement existantes entre les limites de + 45° et de + 80. Nous aurions ainsi 130000 étoiles jusqu'à la 9e grandeur entre

— 15° et + 80°. Cette dernière zone formant les 0,62181 du ciel entier, nous aurions donc, toute proportion gardée, 209000 étoiles sur tout le firmament. C'est à peu près le nombre de Struve; le nôtre est même sensiblement plus fort, en réalité, parce que Struve a compté les étoiles de 9-10e grandeur avec les étoiles de 9e grandeur. — Les nombres qui me paraissent admissibles pour les divers ordres de grandeurs, depuis la 1re jusqu'à la 9e inclusivement, seraient donc: 20, 65, 190, 425, 1100, 3200, 13000, 40000, 142000 qui forment une somme de 200000; tel est le nombre des étoiles comprises entre la 1re et la 9e grandeur. — Vous m'objectez que Lalande (*Hist. céleste*, p. iv) porte à 6000 le nombre des étoiles visibles à l'œil nu qu'il a observées. Je fais remarquer, à ce sujet, qu'il y a dans ce nombre beaucoup d'étoiles observées deux fois et plus; si on les exclut, il reste 3800 étoiles pour la région étudiée par Lalande et comprise entre — 26° 30' et + 90°. Cette région formant les 0,72310 du ciel entier, on trouve, par une simple proportion, qu'il doit y avoir en tout 5255 étoiles visibles à l'œil nu. Une révision de l'*Uranographie* de Bode (17240 étoiles), composée, comme l'on sait, de matériaux fort peu homogènes, ne donne pas plus de 5600 étoiles de 1re à 6e grandeur, lorsque l'on élimine celles de 6-7e qui ont été indûment élevées à la 6e grandeur. Enfin, des calculs semblables, effectués sur les étoiles de 1re à 6e grandeur observées par La Caille entre le pôle sud et le tropique du Capricorne, conduisent à deux limites, 3960 et 5900, entre lesquelles le nombre des étoiles visibles sur tout le ciel doit se trouver compris. Tous ces résultats se trouvent donc ramenés aux nombres moyens que je vous avais communiqués. Vous voyez avec quel empressement je me suis efforcé de remplir votre vœu, en soumettant ces nombres à une recherche approfondie. Permettez-moi d'ajouter que M. le professeur Heis, à Aix-la-Chapelle, s'occupe depuis plusieurs années, de réviser avec soin mon *Uranométrie*. D'après les parties déjà terminées de ce travail, et les additions considérables qu'un observateur habile, doué d'une vue excellente, a faites à cet ouvrage, je trouve 2836 étoiles de 1re à 6e grandeur inclusivement, pour l'hémisphère boréal. Supposons que les étoiles soient réparties de même dans les deux hémisphères, il y aurait donc encore 5672 étoiles visibles à l'œil nu pour la meilleure vue. » (Extrait des Manuscrits d'Argelander, mars 1850.)

(71) [page 86]. Schubert compte 7000 étoiles jusqu'à la 6e grandeur (c'est presque le nombre que j'ai donné dans le Ier vol. du *Cosmos*, p. 121) et plus de 5000 pour la partie du ciel visible sur l'horizon de Paris. Il compte 70000 étoiles jusqu'à la 8e grandeur pour le ciel entier (*Astronomie*, 3e part., p. 54). Ces nombres sont tous trop forts. Argelander ne trouve que 58000 étoiles de la 1re à la 8e grandeur.

(72) [page 87]. Patrocinatur vastitas cœli, immensa discreta altitudine in duo atque septuaginta signa. Hæc sunt rerum et animantium effigies, in quas digessere cœlum périti. In his quidem mille sexcentas adnotavere stellas, insignes videlicet effectu visuve... (Pline, II, 41). — Hipparchus nunquam satis laudatus, ut quo nemo magis approbaverit cognationem cum homine siderum animasque nostras partem esse cœli, novam stellam et aliam in ævo suo genitam deprehendit, ejusque motu, qua die fulsit, ad dubitationem est adductus, anne hoc sæpius fieret moverenturque et eæ quas putamus affixas; itemque ausus rem etiam Deo improbam, adnumerare posteris stellas ac sidera ad nomen expungere, organis excogitatis, per quæ singularum loca atque magnitudines signaret, ut facile discerni posset ex eo, non modo an obirent nascerenturve, sed an omnino aliqua transirent moverenturve, item an crescerent minuerenturque, cœlo in hereditate cunctis relicto, si quisquam qui cretionem eam caperet inventus esset (Pline, II, 26).

(73) [page 87]. Delambre, *Hist. de l'Astron. anc.*, t. I, p. 290, et *Hist. de l'Astron. mod.*, t. II, p. 186.

(74) [page 87]. *Outlines*, § 831; Édouard Biot, *sur les Étoiles extraordinaires observées en Chine*, dans la *Connaissance des Temps* pour 1846.

(75) [page 88]. Aratus a eu le singulier bonheur d'être loué presque en même temps par Ovide (*Amor.*, I, 15) et par l'apôtre saint Paul, à Athènes, dans une Épitre contre les épicuriens et les stoïciens (*Act. Apost.*, cap. 17 v. 28). Saint Paul ne cite pas le nom d'Aratus: mais il rappelle, à ne pas s'y méprendre, un vers de ce poète (*Phæn*, v. 5), sur le lien étroit qui rattache les mortels à la divinité.

(76) [page 88]. Ideler, *Untersuch. über den Ursprung der Sternnamen*, p. xxx-xxxv. Bailly examine aussi à quelles années

de notre ère se rapportent les observations d'Aristille, ainsi que les catalogues d'Hipparque (128 et non 140 av. J. C.) et de Ptolémée (138 ap. J. C.) *Mem. of the Astron. Soc.*, t. XIII, 1843, p. 12 et 15.

(77) [page 88]. Cf. Delambre, *Hist. de l'Astron. anc.*, t. I, p. 184, t. II, p. 260. Il est peu vraisemblable qu'Hipparque, qui désigne toujours les étoiles par leurs ascensions droites et leurs déclinaisons, se soit servi, comme Ptolémée, des longitudes et des latitudes dans son catalogue. Cette opinion est contredite par l'*Almageste*, l. VII, c. 4), où les coordonnées écliptiques sont signalées comme une nouveauté qui facilite l'intelligence du mouvement des étoiles autour du pôle de l'écliptique. Le catalogue d'étoiles avec les *longitudes* en regard, que Petrus Victorius a trouvé dans un manuscrit de la bibliothèque des Médicis, et qu'il a publié, à Florence, en 1567, avec une vie d'Aratus, a été attribué, il est vrai, à Hipparque, par Victorius lui-même, mais sans preuves à l'appui. Cette table paraît être une simple copie du catalogue de Ptolémée, faite sur un ancien manuscrit de l'Almageste, dont on aurait laissé de côté toutes les *latitudes*. Comme Ptolémée ne possédait qu'une évaluation imparfaite de la précession des équinoxes (il la supposait trop lente d'environ 28/100, *Almag.* VII, c. 2, p. 13, éd. Halma), il en résulte que son catalogue, au lieu de répondre, comme Ptolémée le voulait, au commencement du règne d'Antonin, répond en réalité à une époque bien antérieure, savoir à l'an 63 ap. J. C. (Ideler, *Untersuchungen ueber die Sternnamen*, p. xxxiv). Cf. aussi les considérations et les tables auxiliaires que Encke a publiées, dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, n° 608, p. 113-126, pour faciliter le calcul du transport des positions modernes des étoiles à l'époque d'Hipparque. Au reste l'époque pour laquelle le catalogue de Ptolémée représente l'état du ciel, à l'insu de son auteur, coïncide très-probablement avec celle où l'on peut reporter les Catastérismes du Pseudo-Ératosthène. J'ai fait remarquer ailleurs que ces Catastérismes sont postérieurs à Hygin, contemporain d'Auguste. Ils paraissent avoir été empruntés à ce dernier, et n'avoir aucun rapport avec le poème d'*Hermès* du véritable Ératosthène (*Eratosthenica*, compos. God. Bernhardy, 1822, p. 114, 116 et 129). Au reste, ces Catastérismes contiennent à peine 700 étoiles, réparties entre les diverses constellations.

(78) [page 89]. *Cosmos*, t. II, p. 194 et 395-396. La Bibliothèque de Paris contient un manuscrit des *Tables Ilkhanines*, écrit de la main du fils de Nassir-Eddin. Leur nom vient du titre de *Ilkhan* porté par les princes tartares qui régnèrent en Perse. Reinaud, *Introd. de la Géogr. d'Aboulféda*, 1848, p. cxxxix.

(79) [page 89]. Sédillot fils, *Prolégomènes des Tables astron. d'Olough-Beg*, 1847, p. cxxxiv, note 2; Delambre, *Hist. de l'Astron. du moyen-âge*, p. 8.

(80) [page 90]. Dans mes recherches sur la valeur relative des positions géographiques dans l'Asie centrale (*Asie centrale*, t. III, p. 581-596), j'ai donné les latitudes de Samarcande et de Bokhara, d'après les manuscrits arabes et persans de la Bibliothèque de Paris. Je crois avoir prouvé que la première surpasse 39° 52′, tandis que les meilleurs manuscrits d'Olough-Beg donnent 39° 37′; le *Kitab-al-athual* d'Alfarès et le *Kanun* d'Albirouni donnent même 40° pour la latitude de Samarcande. Je crois devoir faire remarquer ici, de nouveau, combien il serait important, pour la géographie et pour l'histoire de l'astronomie, de déterminer enfin la longitude et la latitude de Samarcande par de nouvelles observations dignes de confiance. Nous connaissons la latitude de Bokhara par les observations de Burnes; elle est de 39° 43′ 41″. Les erreurs des deux beaux manuscrits arabes et persans de la Bibliothèque de Paris (n. 164 et n. 2460) sont donc seulement de 7 à 8′; tandis que le Major Rennell, si heureux d'ordinaire dans ses combinaisons, s'est trompé de 19′ sur la latitude de Bokhara. (Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 592, et Sédillot, dans les *Prolég. d'Olough-Beg*, p. cxxiii-cxxv.)

(81) [page 90]. *Cosmos*, t. II, p. 249-251 et 426-427; Humboldt, *Examen crit. de l'hist. de la Géogr.*, t. IV, p. 321-336, t, V, p. 226-238.

(82) [page 90]. Cardani, *Paralipomenon*, l. VIII, c. 10 (Opp., t. IX, éd. Lugd., 1663, p. 508).

(83) [page 91]. *Cosmos*, t. I, p. 67-69.

(84) [page 92]. Baily, *Catal. of those Stars in the Histoire céleste de Jérôme de Lalande, for which tables of reduction to the epoch* 1800 *have been published by prof. Schumacher*, 1847, p. 1195. Sur les progrès dont l'astronomie est redevable à la perfection des catalogues d'étoiles, voyez les considérations de Sir

John Herschel dans le *Catal. of the British Association*, 1845, p. 4, § 10. Cf. aussi, sur les étoiles *perdues*, Schumacher, *Astron. Nachr.*, n° 624, et Bode, *Jahrbuch* für 1817, p. 249.

(85) [page 92]. *Memoirs of the Royal Astron. Soc.*, t. XIII, 1843, p. 33 et 168.

(86) [page 93]. Bessel, *Fundamenta Astronomiæ* pro anno 1755, deducta ex observationibus viri incomparabilis James Bradley in Specula astronomica Grenovicensi, 1818. Cf. aussi Bessel, *Tabulæ Regiomontanæ, reductionum observationum astronomicarum, ab anno* 1750 *usque ad annum* 1850 *computatæ*, 1830.

(87) [page 93]. Je réunis ici dans une seule note les indications relatives à la richesse des catalogues stellaires. Le nom de l'observateur est suivi du nombre des positions d'étoiles qu'il a déterminées. La Caille, 9766 étoiles australes, jusqu'à la 7ᵉ gr. inclus., réduites à 1750 par Henderson. Ce grand travail a été accompli par La Caille en moins de dix mois, de 1751 à 1752, à l'aide d'une lunette qui n'avait qu'un grossissement de 8 fois. Tobie Mayer, 998 étoiles, pour 1756. Flamsteed, 2866, augmentées de 564 par les soins de Baily (*Mem. of the Astron. Soc.*, t. IV, p. 129-164). Bradley, 3222, réduites à 1755 par Bessel. Pond, 1112. Piazzi, 7646, pour 1800. Sir Thomas Brisbane et Rümker, 7385 étoiles australes observées à la Nouvelle-Hollande dans les années 1822-1828. Airy, 2156 étoiles réduites à 1845. Rümker, 12000, à Hambourg. Argelander (catal. d'Abo), 560. Taylor, 11015 à Madras. Le *British Association Catalogue of Stars*, 1845, calculé sous la direction de Baily, contient 8377 étoiles depuis la 1ʳᵉ jusqu'à la 7-8ᵉ gr. Nous possédons en outre, pour le ciel austral, les riches catalogues de Henderson, de Fallows, de Maclear, au Cap, et de Johnson, à Sainte-Hélène.

(88) [page 93]. Weisse, *Positiones mediæ stellarum fixarum in Zonis Regiomontanis a Besselio inter* — 15° et + 15° *decl. observatarum* ad annum 1825 reductæ (1846), avec une importante préface de Struve.

(89) [page 93]. Encke, *Gedächtnissrede auf Bessel*, p. 13.

(90) [page 94]. Cf. Struve, *Études d'Astron. stellaire*, 1847, p. 66 et 72; *Cosmos*, t. I, p. 121; Mædler, *Astron.*, 4ᵉ éd., p. 417.

(91) [page 97]. *Cosmos*, t. II, p. 141 et 374.

(92) [page 97]. Idéler, *Untersuch. über die Sternnamen*, p. XI. 47, 139, 144 et 243; Letronne, *Sur l'origine du Zodiaque grec*, 1840, p. 25.

(93) [page 98]. Letronne, *ibid.*, p. 25, et Carteron, *Analyse des Recherches de M. Letronne sur les représentations zodiacales*, 1843, p. 119. « Il est très-douteux qu'Eudoxe (*Ol.* 103) ait jamais employé le mot ζωδιακός. On le trouve pour la première fois dans Euclide et dans le Commentaire d'Hipparque sur Aratus (*Ol.* 160). Le nom d'écliptique, ἐκλειπτικός, est aussi fort récent. » (Cf. Martin, dans son commentaire sur Théon de Smyrne, *Liber de Astronomia*, 1849, p. 50 et 60.)

(94) [page 98]. Letronne, *Orig. du Zod.*, p. 25, et *Analyse crit. des Représ. zod.*, 1846, p. 15. Ideler et Lepsius tiennent aussi pour vraisemblable « que le zodiaque chaldéen, avec ses divisions et son nom, avait été introduit chez les Grecs dès le 7e siècle avant notre ère; mais que les constellations zodiacales proprement dites pénétrèrent plus tard et successivement dans leur littérature astronomique » (Lepsius, *Chronologie der Ægypter*, 1849, p. 65 et 124). Ideler penche à croire que les Orientaux avaient des noms, mais point de constellations, pour les dodécatémories. Lepsius trouve naturel « que les Grecs, à une époque où la plus grande partie de leur sphère était vide, aient adopté les constellations chaldéennes dont les 12 divisions du zodiaque portent les noms. » Mais ne pourrait-on demander, en suivant cette hypothèse, pourquoi les Grecs n'ont eu d'abord que 11 signes et comment il se fait qu'ils n'aient point emprunté les 12 constellations chaldéennes à la fois? S'ils avaient eu tout d'abord les 12 signes, il aurait été bien inutile d'en rejeter un, pour le rétablir ensuite quelque temps après.

(95) [page 99]. Sur un passage intercalé par un copiste dans le texte d'Hipparque, voyez Letronne, *Orig. du Zod.*, 1840, p. 20. Dès 1812, à une époque où j'étais persuadé que les Grecs avaient dû connaître fort anciennement le signe de la Balance, j'ai soigneusement rassemblé et discuté tous les passages des écrivains de l'antiquité grecque ou romaine où la constellation de la Balance est désignée comme un signe du zodiaque. J'avais signalé, dans ce travail, le passage d'Hipparque (*Comment in Aratum*, l. III, c. 2), dans lequel se trouve cité le θηρίον (du Centaure au

pied de devant). Je n'avais pas oublié non plus le remarquable passage de l'Almageste, l. IX, c. 7 (Halma, t. II, p. 170), dans lequel Ptolémée rapporte une observation qui n'a certainement pas été faite à Babylone, mais bien par des astrologues chaldéens dispersés en Syrie ou à Alexandrie: pour désigner la Balance, il emploie les mots de κατὰ χαλδαίους, et il l'oppose aux Serres du Scorpion. (*Vues des Cordillières et Monuments des peuples indigènes de l'Amérique*, t. II, p. 380). Büttmann prétendait, contre toute vraisemblance, que les χηλαί désignaient originairement les deux plateaux de la Balance et qu'elles avaient été considérées plus tard, par méprise, comme formant les serres du Scorpion. Cf. Ideler, *Untersuch über die astron. Beobacht. der Alten*, p. 374, et *über die Sternnamen*, p. 174-177; Carteron, *Recherches de M. Letronne*, p. 113). Quoi qu'il en soit, on sait combien certains noms des 27 maisons de la Lune présentent d'analogie avec les noms des 12 maisons du Soleil dans le zodiaque; or je suis frappé de retrouver le signe de la Balance parmi les Nakschatras ou maisons de la Lune des Hindous, dont on ne saurait contester la haute antiquité. (*Vues des Cordillières*, t. II, p. 6-12.)

(96) [page 99]. Cf. A. W. de Schlegel, *über Sternbilder des Thierkreises im alten Indien*, dans la *Zeitschrift für die Kunde des Morgenlandes*, t. I, 3ᵉ liv., 1837, et *Commentatio de Zodiaci antiquitate et origine*, 1839, avec Adolphe Holtzmann, *über den griechischen Ursprung des indischen Thierkreises*, 1841, p. 16 et 23. On lit dans ce dernier ouvrage: « Les passages extraits de l'Amarakoscha et du Ramayana ne laissent place à aucun doute: ils parlent du zodiaque même dans les termes les plus clairs. Mais s'il est vrai que les ouvrages dont ces passages sont tirés ont été composés avant que les Hindous pussent avoir connaissance du zodiaque des Grecs, il reste encore à examiner si ces passages ne seraient point des additions postérieures. »

(97) [page 100). Cf. Buttmann, dans le *Berliner astron. Jahrbuch* für 1822, p. 93; Olbers, sur les constellations les plus récentes, dans le Schumacher's *Jahrbuch* für 1840, p. 238-251, et Sir John Herschel, *Revision and Re-arrangement of the Constellations*, with special reference to those of the Southern Hemisphere, dans les *Memoirs of the Astron. Soc.*, t. XII, p. 201-224 (avec un tableau très-exact des étoiles australes rangées par ordre de grandeur, depuis la 1ʳᵉ jusqu'à la 4ᵉ) A propos de la dis-

cussion que Lalande soutint très-sérieusement contre Bode, pour défendre ses constellations du Chat domestique et du Custos segetum (*le Messier !*), Olbers fait remarquer que, « pour faire une place dans le ciel aux *Honneurs de Frédéric* (constellation imaginée par Bode), Andromède avait dû retirer son bras du lieu qu'il occupait depuis 3000 ans. »

(98) [page 100]. *Cosmos*, t. III, p. 23 et 206.

(99) [page 100]. D'après Démocrite et son élève Métrodore; voyez Stobée, *Ecloga physica*, p. 582.

(100) [page 101]. Plutarque, *de Placit. Philos.*, II, 11; Diog. Laerte, VIII, 77; Achilles Tatius *ad Arat.*, c. 5: Εμπ κρυσταλλώδη τοῦτον (τὸν ὀυρανὸν), ειναί φήσιν, ἐκ τοῦ παγετώδους συλλεγηντα: de même on trouve seulement l'épithète de *cristalloïde* dans Diog. Laerte, VIII, 77, et dans Galenus, *Hist. phil.*, 12 (Sturz, *Empedocles Agrigent.*, t. I, p. 321). On lit dans Lactance *de opificio Dei*, c. 17: « An, si mihi quispiam dixerit *aeneum* esse cœlum, aut *vitreum*, aut, ut Empedocles, ait, aërem *glaciatum*, statimne assentiar, quia cœlum ex qua materia sit, ignorem? » Quant à ce *cœlum vitreum*, les Grecs ne nous ont laissé aucun témoignage plus ancien que ce passage. Un astre seulement, le Soleil, a été nommé par Philolaüs un *corps vitré* qui reçoit et réfléchit vers nous les rayons du feu central. L'opinion d'Empédocle, rapportée dans le texte, sur la Lune *arrondie en forme de grêlon*, et réfléchissant la lumière du Soleil, a été mentionée par Plutarque (*De facie in orbe Lunæ*, cap. 5). Cf. Eusèbe, *Præp. Evangel.*, I, p. 24 D. Si, dans Homère et dans Pindare, le ciel est nommé χάλκεος et σιδήρεος, de telles expressions n'ont pas d'autre valeur que celles de *cœur de bronze* ou de *voix d'airain*; elles indiquent seulement le solide, le durable, l'impérissable (Vœlcker, *über Homerische Geographie* 1830, p. 5). Le mot κρύσταλλος, employé pour désigner le cristal de roche transparent comme la glace, se trouve non-seulement dans Pline, mais, avant lui, dans Denys le Périégète, 781, dans Ælien, et dans Strabon, XV, p. 717, Casaub. Il n'est pas possible que les anciens aient puisé l'idée d'assimiler leur ciel de cristal à une voûte de glace (aër glaciatus de Lactance) dans la connaissance du décroissement de la température des couches atmosphériques. Malgré les excursions dans les pays de montagnes, et l'aspect des cimes couvertes de

neiges éternelles, ils se représentaient, par-dessus l'atmosphère proprement dite, la région de l'éther igné et des étoiles auxquelles ils attribuaient aussi une chaleur propre (Aristote, *Meteorol.*, I, 3; *de Cœlo*, II, 7, p. 289). — Après avoir parlé (*de Cœlo*, II, p. 290) des sons célestes « que les hommes ne sauraient entendre, selon les pythagoriciens, parce qu'ils sont continus et que les sons, pour être perçus, doivent être interrompus par des silences, » Aristote soutient une thèse opposée, mais tout aussi singulière. Il admet que les sphères célestes échauffent, par leurs mouvements, l'air placé au-dessous, sans s'échauffer elles-mêmes. Il y aurait ainsi, non pas une production de sons, mais une production de chaleur. « Le mouvement de la sphère des fixes est le plus rapide (Aristote, *de Cœlo*, II, 10, p. 291): pendant que cette sphère se meut circulairement avec les corps qui y sont attachés, les espaces placés immédiatement au-dessous s'échauffent fortement, à cause du mouvement des sphères, et la chaleur ainsi engendrée se propage en bas jusqu'à la Terre. » (*Meteorol.*, I, 3, p. 340. J'ai toujours été frappé du soin que le Stagirite met à éviter le mot de *ciel de cristal*; son expression de *ἐνδεδεμένα ἄστρα*, *astres attachés*, se rapporte à la conception d'une sphère solide, mais sans rien spécifier sur l'espèce de matière dont elle est formée. Cicéron lui-même ne s'explique pas davantage sur ce point; seulement on trouve dans son commentateur Macrobe (*in Cicer. Somnium Scipionis*, I, c. 20, p. 99, éd Bib.) quelques idées plus hardies sur le décroissement de la température avec la hauteur. D'après lui, les zones extrêmes du ciel ont en partage un froid éternel. « Ita enim non solum terram sed ipsum quoque cœlum, quod vere mundus vocatur, temperari a sole certissimum est, ut extremitates ejus, quæ a via solis longissime recesserunt, omni careant beneficio caloris et una frigoris perpetuitate torpescant. » Ces extremitates cœli où l'évêque d'Hippone (*Saint Augustin*, éd. Antv., 1700, I, p. 102, et III, p. 99) plaçait une région d'eau glacée voisine de Saturne, la planète la plus élevée et par conséquent la plus froide, sont toujours considérées comme faisant partie de l'atmosphère; car c'est seulement en dehors de ces limites extrêmes que se trouve l'éther igné (*Macrobe*, I, c. 19, p. 93). Par une singularité dont on ne se rend pas compte, cet éther igné n'empêche point le froid de régner éternellement dans la région voisine. « Stellæ, supra cœlum locatæ, in ipso purissimo æthere sunt, in quo omne, quid-

quid est, lux naturalis et sua est (la région des astres brillant par eux-mêmes), quæ tota eum igne suo ita sphæræ solis incumbit, ut cœli zonæ, quæ procul a sole sunt, perpetuo frigore oppressæ sint. » Si j'ai cru devoir développer ici avec détail la connexité des idées physiques et météorologiques des Grecs et des Romains, c'est qu'à part les travaux d'Ukert, d'Henri Martin et les excellents fragments sur la *Meteorologia Veterum* de J. Ideler, ce sujet avait été à peine ébauché jusqu'ici.

(1) [page 101]. Que le feu ait la puissance de déterminer la solidification (Aristote, *Probl.* XIV, 11) que la congélation même puisse être déterminée par la chaleur, ce sont là des opinions profondément enracinées dans la physique des anciens. Elles reposent, en dernière analyse, sur une brillante théorie des contraires (Antiperistasis), sur un obscur pressentiment de la polarité, manifestée dans des états ou des qualités opposées d'une même matière. Cf. *Cosmos*, t. III, p. 11 et 22. La grêle se forme avec d'autant plus d'abondance que les couches d'air sont plus *échauffées* (Aristote, *Meteor.* I, 12). Pendant la pêche d'hiver, sur les côtes du Pont-Euxin, on employait de l'eau *chaude* pour que la glace augmentât tout autour des tuyaux plantés au fond de la mer (Alexandre d'Aphrodisie fol. 86 et Plutarque, *de primo frigido*, c. 12).

(2) [page 102]. Képler dit expressément (*Stella Martis*, fol. 9): Solidos orbes rejeci; et *Stella Nova*, 1606, cap. 2, p. 8): Planetæ in puro æthere, perinde atque aves in aëre, cursus suos conficiunt (Cf. aussi p. 122). Mais il avait commencé par admettre une sphère solide et formée de glace: Orbis ex aequa factus gelu concreta propter solis absentiam (Képler, *Epit. Astron.*, *Copern.*, I, 2, p. 51). Vingt siècles avant Képler, Empédocle soutenait déjà que les étoiles étaient attachées à un ciel de cristal, mais que « les planètes étaient libres et indépendantes » (τοὺς δὲ πλανήτας ἀνεῖσθαι). Cf. Plutarque, *de Plac. Philos.*, II, 13: Empéd., I, p. 335, éd. Sturz; Eusèbe, *Præp. evang.*, XV, 30, col. 1688, p. 839. Il est difficile de comprendre comment Platon (mais non Aristote) peut attribuer un mouvement de *rotation* aux étoiles, tout en les supposant fixées à un orbe solide (*Timée*, p. 40 B).

(3) [page 102]. *Cosmos*, t. II, p. 268 et 445.

(4) [page 102]. *Cosmos*, t. III, p. 43 et 219.

(5) [page 102]. « Les principales causes de la vue indistincte sont: aberration de sphéricité de l'œil, diffraction sur les bords de la pupille, communication d'irritabilité à des points voisins sur la rétine. La vue confuse est celle où le foyer ne tombe pas exactement sur la rétine, mais tombe où devant ou derrière la rétine. Les queues des étoiles sont l'effet de la vision indistincte, autant qu'elle dépend de la constitution du cristallin. D'après un très-ancien mémoire de Hassenfratz (1809) « les queues au nombre de 4 ou 8 qu'offrent les étoiles ou une bougie vue à 25 mètres de distance, sont les caustiques du cristallin formées par l'intersection des rayons réfractés. » Ces caustiques se meuvent à mesure que nous inclinons la tête. — La propriété de la lunette de terminer l'image fait qu'elle concentre dans un petit espace la lumière qui sans cela en aurait occupé un plus grand. Cela est vrai pour les étoiles fixes et pour les disques des planètes. La lumière des étoiles qui n'ont pas de disques réels, conserve la même intensité, quel que soit le grossissement. Le fond de l'air, duquel se détache l'étoile dans la lunette, devient plus noir par le grossissement qui dilate les molécules de l'air qu'embrasse le champ de la lunette. Les planètes à vrais disques deviennent elles-mêmes plus pâles par cet effet de dilatation. — Quand la peinture focale est nette, quand les rayons partis d'*un point* de l'objet se sont concentrés en *un seul point* dans l'image, l'oculaire donne des résultats satisfaisants. Si au contraire les rayons émanés d'un point ne se réunissent pas au foyer en un seul point, s'ils y forment *un petit cercle*, les images de deux points contigus de l'objet empiètent nécessairement l'une sur l'autre; leurs rayons se confondent. Cette confusion la lentille oculaire ne saurait la faire disparaître. L'office qu'elle remplit exclusivement, c'est de grossir; elle grossit tout ce qui est dans l'image, les défauts comme le reste. Les étoiles n'ayant pas de diamètres angulaires sensibles, ceux qu'elles conservent toujours tiennent pour la plus grande partie au manque de perfection des instruments (à la courbure moins régulière donnée aux deux faces de la lentille objective) et à quelques défauts et aberrations de notre œil. Plus une étoile semble petite, tout étant égal quant au diamètre de l'objectif, au grossissement employé et à l'éclat de l'étoile observée, et plus la lunette a de perfection. Or le meilleur moyen de juger si les étoiles sont très-petites, si des points sont représentés au foyer par de simples points, c'est évidem-

ment de viser à des étoiles excessivement rapprochées entre elles et de voir si dans les étoiles doubles connues les images se confondent, si elles empiètent l'une sur l'autre, ou bien si on les aperçoit bien nettement séparées. » (Arago, *Manuscrits* de 1834 et de 1847.)

(6) [page 103]. Hassenfratz, *sur les rayons divergents des étoiles*, dans Delamétherie, *Journal de Physique*, t. LXIX, 1809, p. 324.

(7) [page 103]. Horapollinis Niloi, *Hieroglyphica*, éd. Conr. Leemans, 1835, c. 13, p. 20. Le savant éditeur rappelle (p. 194), en combattant l'opinion de Jomard (*Descript. de l'Égypte*, t. VII, p. 423), qu'on n'a point encore rencontré l'étoile, comme symbole du nombre 5, ni sur les monuments, ni dans les papyrus.

(8) [page 103]. Lorsque je naviguais sur la mer du Sud, à bord de vaisseaux espagnols, j'ai trouvé, chez les matelots, la croyance que, pour déterminer l'âge de la Lune avant le premier quartier, il suffisait de la regarder à travers un tissu de soie et de compter les images multiples que l'on perçoit ainsi. — Ce serait là un phénomène de diffraction réticulaire.

(9) [page 103]. *Outlines*, § 816. Arago a fait croître le faux disque d'Aldébaran depuis 4″ jusqu'à 15″, en rétrécissant de plus en plus l'ouverture de l'objectif.

(10) [page 104]. Delambre, *Hist. de l'Astron. mod.*, t. I, p. 193; Arago, *Annuaire* pour 1842, p. 366.

(11) [page 104]. « Minute and very close companions, the severest tests which can be applied to a telescope; » *Outlines*, § 837. Cf. aussi Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, p. 29 et Arago dans l'*Annuaire* pour 1834, p. 302-305. Voici les satellites qui peuvent servir d'épreuves pour les instruments optiques à grossissements considérables: le 1er et le 4e satellite d'Uranus, revus, en 1847, par Lassell et Otto Struve; le 1er, le 2e et le 7e satellite de Saturne (Mimas, Encelade et Hypérion découvert par Bond); le satellite de Neptune découvert par Lassell. Cette idée de pénétrer dans les profondeurs des cieux a conduit Bacon, dans un passage où il adresse à Galilée d'éloquentes louanges, tout en lui attribuant à tort l'invention des lunettes, à prendre,

pour terme de comparaison, les vaisseaux qui portent les navigateurs sur un Océan inconnu, « ut propriora exercent possint cum cœlestibus commercia; » *Works of Francis Bacon*, 1740, t. I. *Novum Organon*, p. 361.

(12) [page 105]. « L'expression ὑπόκιρρος, dont Ptolémée se sert dans son catalogue et qu'il applique uniformément aux 6 étoiles qu'il cite pour leur couleur, indique un faible degré de coloration intermédiaire entre le jaune et le rouge de feu. Elle signifie exactement une nuance faible du rouge de feu. Quant aux autres étoiles, Ptolémée paraît leur attribuer d'une manière générale, l'épithète de ξανθός, blond ardent (*Almag.*, VIII, 3, éd. Halma, t. II, p. 94). D'après Galien (*Meth. med.*, 12) κιρρός signifie une couleur rouge de feu pâle, tirant sur le jaune. Aulu-Gelle compare ce mot à *melinus* dont le sens est, suivant Servius, identique à celui de *gilvus* et de *fulvus*. Sirius est cité par Sénèque (*Natur. Quæst.*, I, 1) comme étant *plus rouge que Mars;* cette étoile est d'ailleurs du nombre de celles que l'Almageste nomme ὑπόκιρροι. On ne saurait donc douter que ce dernier mot n'indique la prédominance ou, du moins, une certaine proportion de rayons rouges dans la lumière de cette étoile. On a dit que Cicéron avait traduit par *rutilus* l'adjectif ποικίλος qu'Aratus a appliqué à Sirius (v. 327); mais cette assertion est erronée. Cicéron dit, v. 348 :

> Namque pedes subter rutilo cum lumine claret
> Fervidus ille Canis stellarum luce refulgens ; .

mais *rutilo cum lumine* n'est point la traduction du mot ποικίλος: c'est simplement une addition du traducteur. » (Extrait de lettres du professeur Franz). « Si en substituant *rutilus*, dit Arago, au terme grec d'Aratus, l'orateur romain renonce à dessein à la fidélité, il faut supposer que lui-même avait reconnu les propriétés rutilantes de la lumière de Sirius. » (*Annuaire* pour 1842, p. 351.)

(13) [page 105]. Cléomède, *Cycl. Theor.*, I, 11, p. 59.

(14) [page 105]. Mædler, *Astron.*, 1849, p. 391.

(15) [page 105]. Sir John Herschel dans l'*Edinb. Review*, t. 87, 1848, p. 189, et dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, 1839, n° 372: « It seems much more likely that in Sirius a red colour

should be the effect of a medium interfered, than that in the short space of 2000 years so vast a body should have actually undergone such a material change in its physical constitution. It may be supposed the existence of some sort of *cosmical cloudiness*, subject to internal movements, depending on causes of which we are ignorant. » (Cf. Arago dans l'*Annuaire* pour 1842, p. 350-353.)

(16) [page 106]. Dans les *Muhamedis Alfragani chronologica et astronomica elementa*, éd. Jacobus Christmannus, 1590, c. 22, p. 97, on trouve: « Stella ruffa in Tauro Aldebaran ; stella ruffa *in Geminis* quæ appellatur *Hajok*, hoc est Capra. » Or *Alhajoc*, *Aijuk* sont les désignations habituelles de la Chèvre, dans les traductions arabes de l'Almageste et même dans les traductions latines faites sur des textes arabes. A ce sujet, Argelander remarque avec raison que Ptolémée, dans un ouvrage astrologique (Τετράβιβλος σύνταξις) dont le style et les plus anciens témoignages établissent l'authenticité, a comparé les étoiles aux planètes par rapport à la coloration, et qu'il rapproche ainsi la Chèvre *Aurigæ stella*, de la *Martis stella*, quæ urit sicut congruit igneo ipsius colori. Cf. Ptolémée, *Quadripart. construct.*, libri IV, Basil. 1551, p. 383. De même Riccioli range la Chèvre parmi les étoiles rouges, à côté d'Antarès, d'Aldébaran et d'Arcturus. (*Almagestum novum*, éd. 1650, t. I, pars 1, l. 6, c. 2, p. 394.)

(17) [page 107]. Voyez *Chronologie der Ægypter* par Richard Lepsius, t. I, 1849, p. 190-195 et 215. Le calendrier égyptien, avec l'ensemble de ses dispositions, a été établi 3285 avant notre ère, c'est-à-dire un siècle et demi environ après l'élection de la grande pyramide de Chéops-Choufou, et 940 ans avant la date ordinairement assignée au déluge (Cf. *Cosmos*, t. II p. 345). On sait, par les mesures du colonel Wyse, que la galerie souterraine très-étroite qui donne accès dans l'intérieur de la pyramide est inclinée presque exactement de 26° 15', et que la direction de cette galerie répondait ainsi à la hauteur que α du Dragon, l'étoile polaire du temps de Chéops, avait alors à Gizeh, lors de sa culmination inférieure. Mais les calculs relatifs à cette circonstance supposent, pour l'époque de la construction de la pyramide, l'année 3970 avant J. C. (*Outlines of Astron.*, § 319), et non pas 3430, comme nous l'avions admis dans le *Cosmos*, d'après Lep-

sius. Au reste, cette différence de 540 années s'oppose d'autant moins à ce que α du Dragon ait pu être prise pour étoile polaire, que sa distance au pôle, en l'année 3970, n'était encore que de 3° 44'.

(18) [page 107]. J'extrais ce qui suit de la correspondance amicale du professeur Lepsius (février 1850): « Le nom égyptien de Sirius est *Sothis;* il se trouve ainsi désigné comme un astre femelle. De là vient le grec ἡ Σῶθις, identique avec la déesse *Sote* (plus souvent *Sit* dans la langue hiéroglyphique), et avec Isis-Sothis, dans le temple de Ramsès le Grand, à Thèbes (Lepsius, *Chronol. der Ægypter*, t. I, p. 119 et 136). La signification de la racine se retrouve dans la langue copte qui offre une nombreuse famille de mots de même origine, dont les divers membres présentent à la vérité beaucoup de divergences, mais que l'on peut réunir cependant et coordonner comme il suit. Par une triple dérivation du sens primitif de *projeter, projicere* (sagittam, telum), on trouve: 1° ensemencer, seminare; puis, extendere, étendre, bander, tendre une corde; enfin, ce qui est plus important ici, *rayonner la lumière* et *briller*, comme les étoiles et le feu. On peut faire rentrer, dans la même série d'idées, les noms des divinités: *Satis* (qui lance des traits), *Sothis* (qui rayonne) et *Seth* (qui brûle). On peut déduire encore des hiéroglyphes: *sit* ou *seti*, la flèche et aussi le rayon; *seta*, filer; *setu*, semences répandues. *Sothis* désigne principalement l'astre *radieux* qui règle les saisons et les périodes de temps. Le petit triangle, toujours peint en jaune, qui est un signe symbolique de Sothis, prend une signification remarquable, lorsqu'il se trouve reproduit plusieurs fois dans un certain ordre (sur trois lignes émergeant du bas du disque solaire); c'est alors la représentation du *soleil rayonnant*. *Seth* est le dieu du feu, le destructeur. Il contraste avec *Satis*, déesse femelle, symbole du Nil fécondant, qui imprègne d'une chaude humidité les semences. *Satis* est la déesse des Cataractes, parce que c'est à l'époque de l'apparition de Sothis dans le ciel, vers le solstice d'été, que les eaux du Nil commencent à l'enfler. Vettius Valens nomme l'étoile même Σὴθ au lieu de *Sothis;* toujours est-il qu'il est impossible d'identifier, comme le fait Ideler (*Handbuch der Chronol.*, t. I, p. 126), Thoth avec Seth ou Sothis; il n'y a aucune analogie entre ces noms, ni pour le fond, ni pour la forme (Lepsius, t. I, p. 136).

Après ces origines égyptiennes, voici les étymologies tirées du grec, du zend et du sanscrit. « Σείρ, *le Soleil*, dit le professeur Franz, est un radical fort ancien qui ne diffère que par la prononciation de θέρ, θέρος, *la chaleur*, *l'été*, dans lesquels une altération a eu lieu, comme dans le passage de τεῖρος à τέρος ou τέρας. Pour démontrer la justesse du rapport qui vient d'être indiqué entre les radicaux σείρ et θέρ, θέρος, nous pouvons citer non-seulement l'épithète de θερείτατος dans Aratus, v. 149 (Ideler, *Sternnamen*, p. 241) mais encore l'emploi de dérivations postérieures du radical σείρ, à savoir les formes σειρός, σείριος, σειρινός, *chaud*, *brûlant*. Il est en effet bien significatif que σειρινὰ ἱμάτια soit aussi usité que θερινὰ ἱμάτια, légers habillements d'été. Mais la forme σείριος devait devenir prédominante ; elle a formé l'adjectif appliqué à tous les astres auxquels on attribuait de l'influence sur la chaleur estivale. C'est ainsi que le poëte Archiloque nomme le Soleil σείριος ἀστήρ, et qu'Ibycus désigne les astres par la désignation générale de σείρια, *les brillants*. Il est impossible, par exemple, de douter qu'il s'agisse du Soleil dans ce vers d'Archiloque: πολλοὺς μὲν αὐτοῦ σείριος καταυανεῖ ὀξὺς ἐλλάμπων. D'après Hésychius et Suidas, le terme Σείριος désigne à la fois le Soleil et Sirius. Il n'en est plus de même, suivant Tzetzès et Proclus, d'un passage d'Hésiode (*Opera et Dies*, v. 417) où le Soleil se trouve désigné, mais non l'étoile du Chien ; je partage entièrement, sur ce point, l'opinion du récent éditeur de Théon de Smyrne, M. H. Martin. De l'adjectif σείριος, qui s'est établi comme une sorte d'*epithethon perpetuum* pour l'étoile du Chien, vient le verbe σειριᾶν que l'on peut traduire par *scintiller*. Aratus, v. 331, dit de Sirius : ὀξέα σειριάει, *il scintille vivement*. Le mot Σειρήν, *Sirène*, a une étymologie tout à fait différente: et vous avez eu parfaitement raison de penser qu'il n'a pas d'autre analogie qu'une ressemblance de son fortuite avec le nom de l'étoile du Chien. L'erreur est du côté de ceux qui veulent, d'aprés Théon de Smyrne (*Liber de Astronomia*, 1850, p. 202), faire dériver Σειρήν de σειριάζειν; ce dernier mot ne serait du reste qu'une forme invraisemblable du verbe σειριᾶν. Tandis que σείριος exprime la chaleur et la lumière en mouvement, le mot Σειρήν est dérivé d'une racine qui se rapporte aux sons continus, au murmure produit par certains phénomènes naturels. Je crois en effet que Σειρήν se rattache à εἴρειν (Platon, *Cratyl.* 398 D. τὸ γὰρ εἴρειν λέγειν ἐστί) dont l'aspiration, forte d'abord,

aurait été remplacée par le sifflement du Σ. » (Extrait des lettres du prof. Franz, janvier 1850.)

« Le grec Σείρ, le Soleil, se déduit aisément, d'après Bopp, du mot sanscrit *svar* qui, à la vérité, ne désigne pas le *Soleil*, mais bien le *ciel*, en raison de son éclat. La désignation ordinaire du Soleil, en sanscrit, est *sûrya*, forme contractée de l'inusité *svârya*. Le radical *svar* signifie, en général, *briller*, *éclairer*. Le nom zend du Soleil est *hvare*, avec un *h* à la place de l'*s*. Quant aux formes grecques θέρ, θέρος et θερμός, elles viennent du sanscrit *gharma* (nom. *gharmas*), chaleur. »

Le savant éditeur du *Rigveda*, Max Müller, fait remarquer que « le nom astronomique de l'étoile du Chien, chez les Hindous, est *Lubdhaka*, *le chasseur*. Or, le voisinage d'Orion donne à penser que, pour les peuples *ariens*, ces deux constellations devaient avoir originairement une relation mutuelle. » Au reste, Müller fait dériver « Σείριος du mot *sira* des Védas (d'où l'adjectif *sairya*) et de la racine *srî*, aller, marcher; de la sorte, le Soleil et Sirius auraient été nommés primitivement étoiles errantes. » (Cf. aussi Pott, *Etymologische Forschungen*, 1833, p. 130).

(19) [page 107]. Struve, *Stellarum compositarum Mensuræ micrometricæ*, 1837, p. LXXIV et LXXXIII.

(20) [page 107]. Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, p. 34.

(21) [page 108]. Mædler, *Astronomie*, p. 436.

(22) [page 108]. *Cosmos*, t. II, p. 281 et 432, n° 63.

(23) [page 108]. Arago, *Annuaire* pour 1842, p. 348.

(24) [page 108]. Struve, *Stellar. comp.*, p. LXXXII.

(25) [page 108]. Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, p. 17 et 102 (*Nebulæ and Clusters*, n° 3435).

(26) [page 109]. Humboldt, *Vue des Cordillères et Monuments des peuples indigènes de l'Amérique*, t. II, p. 55.

(27) [page 109]. Julii Firmici Materni *Astron.*, libri VIII, Basil. 1551, lib. VI, cap. 1, p. 150.

(28) [page 109]. Lepsius, *Chronol. der Ægypter*, t. I, p. 143. « Le texte hébreu cite: *Asch*, le géant (Orion?), la constella-

tion aux nombreuses étoiles (les Pléiades?) et les Chambres du Sud. Les Septante traduisent: ὁ ποιῶν Πλειάδα καὶ Εσπερον καὶ Αρκτοῦρον καὶ ταμεῖα νότου. »

(29) [page 109]. Ideler, *Sternnamen*, p. 295.

(30) [page 109]. Martianus Capella change le Ptolemæon en Ptolemæus; ces deux noms avaient été imaginés par les flatteurs de la cour d'Égypte. Amerigo Vespucci croyait avoir vu trois Canopus, dont un était entièrement obscur (fosco); Canopus ingens et niger, dit la traduction latine. Il s'agissait sans doute d'un des Sacs à Charbon (Humboldt, *Examen crit. de la Géogr.*, t. V, p. 227-229). Dans l'ouvrage cité ci-dessus, *Elem. Chronol. et Astron.* de El-Fergani (p. 100), on lit que les pèlerins chrétiens avaient l'habitude de donner au *Sohel* des Arabes (Canopus) le nom d'*étoile de Sainte Catherine*, parce qu'ils étaient joyeux de la voir et de se guider sur elle, pour aller de Gaza au mont Sinaï. D'après la plus ancienne épopée de l'antiquité hindoue, le *Ramayana*, les étoiles voisines du pôle austral seraient d'une création plus récente que les étoiles du nord. Un magnifique épisode de ce vieux poème en donne une raison assez étrange. Lorsque les Hindous brahmaniques pénétrèrent dans la presqu'île du Gange, en quittant les régions situées par 30° de latitude nord, pour envahir, en marchant vers le sud-est, les contrées tropicales dont ils firent la conquête, ils virent de nouveaux astres s'élever à l'horizon, à mesure qu'ils avançaient vers l'île de Ceylan. De ces astres ils firent, d'après leurs anciennes coutumes, des constellations nouvelles: mais plus tard, la tradition transforma hardiment ces constellations en une *création nouvelle* de Visvamitra « qui voulut surpasser dans son œuvre la splendeur du ciel boréal. » (A G. de Schlegel dans la *Zeitschrift für die Kunde des Morgenlandes*, t. I, p. 240.) Évidemment ce vieux mythe a été inspiré par la surprise que les peuples ont dû éprouver dans leurs migrations, en voyant des régions célestes toutes nouvelles pour eux. Mais l'aspect des cieux ne varie pas seulement pour les voyageurs, dont un célèbre poète espagnol, Garcilaso de la Vega, disait: mudan de pays y de estrellas, ils changent à la fois de pays et d'étoiles. Si les traditions locales de certains peuples fixés au sol pouvaient remonter assez haut, nul doute qu'elles ne conservassent quelque trace de variations d'un autre genre. Les étoiles viennent à nous et s'éloignent en-

suite, en vertu de la précession; peu à peu les constellations disparaissent, tandis qu'on voit s'élever lentement au-dessus de l'horizon, des étoiles brillantes auparavant invisibles, telles que celles des pieds du Centaure, de la Croix du Sud, de l'Eridan ou du Navire. J'ai rappelé ailleurs que, 2900 ans avant notre ère, la Croix du Sud brillait sur l'horizon de Berlin et s'élevait alors à 7° de hauteur. Ces 29 siècles ne nous reportent pas à une époque historiquement bien reculée, car les grandes pyramides existaient déjà 5 siècles auparavant (Cf. *Cosmos*, t. I, p. 120 : t. II, p. 252). Mais jamais Canopus n'a été visible à Berlin, parce que sa distance au pôle de l'écliptique ne dépasse pas 14°; il faudrait 1° de plus, pour que cette étoile eût pu atteindre notre horizon.

(31) [page 109]. *Cosmos*, t. II, p. 146.

(32) [page 110]. Olbers dans le *Jahrbuch* für 1840 de Schumacher, p. 249 et *Cosmos*, t. III, p. 90.

(33) [page 110]. Struve, *Études d'Astron. stellaire*, note 74. page 31.

(34) [page 110]. *Outlines of Astron.*, § 785.

(35) [page 111]. *Outlines of Astron.*, § 795 et 796; Struve, *Études d'Astron. stellaire*, p. 66-73 et note 75.

(36) [page 112]. Struve, p. 59. Schwinck trouve dans ses cartes :

de	0°	à	90°	d'AR.	2858 étoiles.
de	90	à	180		3011
de	180	à	270		2688
de	270	à	360		3591

La somme est 12148 étoiles jusqu'à la 7ᵉ grandeur.

(37) [page 112]. Voyez, sur le *Cercle nébuleux* qui se trouve dans la poignée de l'épée de Persée, Ératosthène, *Catasler.*, c. 22. p. 51, éd. Schaubach.

(38) [page 112]. John Herschel, *Voyage au Cap*, § 105, p. 156.

(39) [page 113]. *Outlines*, § 864-869, p. 591-596; Mædler, *Astron.*, p. 764.

(40) [page 113]. *Voyage au Cap*, § 29, p. 19.

(41) [page 114]. « A stupendous object, a most magnificent *globular* cluster, dit Sir John Herschel, *completely insulated,* upon a ground of the sky perfectly *black* throughout the whole breadth of the sweep. » (*Voyage au Cap,* p. 18 et 51, Pl. III, fig. I; *Outlines,* § 895, p. 615.)

(42) [page 115]. Bond, dans les *Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences,* new series, t. III, p. 75.

(43) [page 115]. *Outlines,* § 874, p. 601.

(44) [page 115]. Delambre, *Hist. de l'Astron. moderne*, t. I, p. 697.

(45) [page 115]. C'est à Sir John Herschel que nous devons la première description complète de la Voie lactée dans les deux hémisphères. Voyez les §§ 316-335 de l'ouvrage que nous avons partout nommé *Voyage au Cap*, et dont le véritable titre est: *Results of Astronomical Observations* made during the years 1834-1838, at the *Cape of Good Hope.* Voyez encore l'ouvrage plus récent de J. Herschel, *Outlines of Astronomy*, § 787-799. J'aurais pu tirer parti des observations que j'ai faites, pendant mon long séjour dans l'hémisphère austral, sur l'éclat si inégal des diverses régions de la Voie lactée, etc...; mais je n'avais à ma disposition que des instruments d'une faiblesse optique extrême en comparaison de ceux de Sir John Herschel: aussi, pour éviter de mêler le certain à l'incertain, ai-je pris le parti de m'en tenir exclusivement aux travaux de cet éminent astronome. Cf. aussi Struve, *Études d'Astron. stellaire*, p. 35-79, Mædler, *Astron.*, 1849, § 213; *Cosmos*, t. I, p. 83, 128 et 251.

(46) [page 115]. En assimilant la Voie lactée à un fleuve céleste, les Arabes furent conduits à donner à une partie de la constellation du Sagittaire, dont l'arc se trouve dans une région brillante de cette zone, le nom de *l'animal qui va s'abreuver*, et cet animal était précisément l'Autruche, qui éprouve si peu la sensation de la soif. (Ideler, *Untersuch. über den Ursprung und die Bedeutung der Sternnamen*, p. 78, 183 et 187; Niebuhr, *Beschreibung von Arabien*, p. 112.)

(47) [page 116]. *Outlines;* p. 529; Schubert, *Astron.*, 3 part., p. 71.

(48) [page 116]. Struve, *Études d'Astron. stellaire*, p. 41.

(49) [page 116]. *Cosmos*, t. I, p. 121 et 365, n. 9.

(50) [page 117]. « Stars standing on a clear black ground (*Voyage au Cap*, p. 391). This remarkable belt (the milky way when examined through powerful telescopes) is found (wonderful to relate!) *to consist entirely of stars scattered by millions*, like glittering dust, on the *black ground* of the general heavens. » (*Outlines*, p. 182, 537 et 539.)

(51) [page 117]. « *Globular clusters*, except in one region of small extent (between $16^h\ 45^m$ and 19^h in RA.), and *nebulæ of regular elliptic forms* are comparatively rare in the Milky Way, and are found congregated in the greatest abundance in a part of the heavens the most remote possible from that circle. » (*Outlines*, p. 614.) Huyghens avait remarqué, dès 1656, combien la Voie lactée était pauvre en nébuleuses. Dans le même passage où il signale et décrit la grande nébuleuse d'Orion, qu'il découvrit en 1656 à l'aide d'une lunette de 9 mètres, il dit (ainsi que je l'ai déjà fait remarquer dans le second volume du *Cosmos*, p. 450): Viam lacteam perspicillis inspectam nullas habere nebulas; il ajoute que la Voie lactée est, comme toutes les nébuleuses, un grand amas d'étoiles. Ce passage se trouve dans Hugenii *Opera varia*, 1724, p. 593.

(52) [page 117]. *Voyage au Cap*, § 105, 107 et 328. Sur l'anneau nébuleux, n° 3686, voyez p. 114.

(53) [page 117]. « Intervals absolutely dark *and completely void of any star* of the smallest telescopic magnitude. » (*Outlines*, p. 536.)

(54) [page 118]. « No region of the heavens is fuller of objects, beautiful and remarkable in themselves, and rendered still more so by their mode of association and by the peculiar features assumed by the Milky Way, which are without a parallel in any other part of its course. » (*Voyage au Cap*, p. 386.) Ces expressions si vives de Sir John Herschel répondent parfaitement à l'impression que j'ai moi-même éprouvée. Le capitaine Jacob (Bombay Engineers) dépeint avec une vérité frappante l'éclat de la Voie lactée dans le voisinage de la Croix du Sud: « Such is the general blaze of star-light near the Cross from that part of the sky, that a person is immediately made aware of its having risen

above the horizon, though he should not be at the time looking at the heavens, by the increase of general illumination of the atmosphere, resembling the effect of the young moon. Voyez Piazzi Smyth, *on the Orbit of α Cent.* dans les *Transact. of the Royal Soc. of Edinburgh*, t. XVI, p. 445.

(55) [page 119]. *Outlines*, § 789 et 791 ; *Voyage au Cap*, § 325.

(56) [page 119]. *Almageste*, l. VIII, c. 2 (t. II, p. 84 et 90, éd. Halma). La description de Ptolémée est excellente par endroits; elle est surtout bien supérieure à celle d'Aristote, *Meteorol.*, l. I, p. 29 et 34, éd. d'Ideler.

(57) [page 120]. *Outlines*, p. 531. Il y a aussi une tache sombre entre α et γ de Cassiopée. L'obscurité de cet espace doit être attribuée à un effet de contraste produit par l'éclat des régions environnantes. Cf. Struve, *Études stellaires*, p. 58.

(58) [page 120]. Morgan a donné, dans le *Philos. Magazine*, sér. III, n. 32, p. 241, un extrait de l'ouvrage extrêmement rare de Thomas Wright, de Durham, *Theory of the Universe*, London, 1750. Thomas Wright, dont le livre a acquis tant d'intérêt pour les astronomes, par suite des ingénieuses spéculations de Kant et de William Herschel sur la forme de notre nébuleuse, n'observait lui-même qu'avec un télescope de 32 centimètres de foyer.

(59) [page 121]. Pfaff, dans les *sämmtl. Schriften* de W. Herschel, t. I (1826), p. 78-81 ; Struve, *Études stell.*, p. 35-44.

(60) [page 121]. Encke, dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, n° 622 (1847) p. 341-346.

(61) [page 121]. *Outlines*, p. 536. A la page suivante, on trouve sur le même sujet: « In such cases it is equally impossible not to perceive that we are looking *through* a sheet of stars of no great thickness compared with the distance which separates them from us. »

(62) [page 121]. Struve, *Études stell.*, p. 63. Quelquefois les plus grands télescopes rencontrent, dans la Voie lactée, de ces places où l'existence de la couche stellaire n'est plus annoncée par d'innombrables points lumineux, mais par une nébulosité vague, d'apparence mouchetée ou pointillée (by an uniform dot-

ting or stippling of the field of view). Voyez, dans le *Voyage au Cap*, p. 399, le paragraphe « on some indications of very remote telescopic branches of the Milky Way, or of an independent sidereal System, or Systems, bearing a resemblance to such branches. »

(63) [page 122]. *Voy. au Cap*, § 314.

(64) [page 122]. Sir William Herschel dans les *Philos. Transact.* for 1785, p. 21; Sir John Herschel, *Voy. au Cap*, § 293. Cf. aussi Struve, *Desc. de l'Observatoire de Poulkova*, 1845, p. 267-271.

(65) [page 122]. « I think, dit Sir John Herschel, it is impossible to view this splendid zome from *α Centauri* to the Cross without an impression amounting almost to conviction, that the milky way is not a mere stratum, but annular; or at least that our system is placed within one of the poorer or almost vacant parts of its general mass, and that eccentrically, so as to be much nearer to the region about the Cross than to that diametrically opposite to it. » (Mary Somerville, *on the connexion of the physical Sciences*, 1846, p. 419.)

(66) [page 122]. *Voyage au Cap*, § 315.

(67) [page 126]. *De admiranda Nova Stella, anno 1572 exorta*, in TychonisBrahe, *Astronomiæ instauratæ Progymnasmata*, 1603, p. 298-304 et 578. J'ai fidèlement suivi, dans le texte, la narration de Tycho lui-même. Je n'ai donc pas dû faire mention d'une assertion fort peu importante en elle-même, bien qu'on la retrouve dans beaucoup d'ouvrages astronomiques: Tycho aurait été averti, dit-on, de l'apparition de l'étoile nouvelle, par un grand concours de gens du pays.

(68) [page 126]. Dans une discussion avec Tycho, Cardan remonta jusqu'à l'étoile des Mages, pour l'identifier avec celle de 1572. En se fondant sur des calculs relatifs aux conjonctions de Saturne et de Jupiter, et d'après des conjectures analogues à celle que Képler avait émises sur l'étoile nouvelle qui parut, en 1604, dans le Serpentaire, Ideler croit que l'*étoile des Sages de l'Orient* n'était pas une étoile isolée, mais un simple *aspect*, une conjonction de deux planètes brillantes, qui se seraient rapprochées l'une de l'autre à une distance moindre que le diamètre de la

Lune. La fréquente confusion des deux mots ἀστήρ et ἄστρον donne quelque appui à cette interprétation. Cf. Tychonis *Progymnasmata*, p. 324-330, avec Ideler, *Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie*, t. II, p. 399-407.

(69) [page 127]. *Progymn.*, p. 324-330. Tycho, pour appuyer sa théorie des étoiles nouvelles, formées *aux dépens de la nébulosité cosmique de la Voie lactée*, invoque les passages remarquables où Aristote expose ses idées sur les rapports de la Voie lactée avec les queues des comètes (nébulosités émises par les noyaux cométaires). Cf. *Cosmos*, t. I, p. 83-84 et 323, n. 48.

(70) [page 129]. D'autres renseignements placent l'apparition en 388 ou 398: voyez Jacques Cassini, *Éléments d'Astronomie*, 1740 (Étoiles nouvelles), p. 59.

(71) [page 135]. Arago, *Annuaire* pour 1842, p. 332.

(72) [page 136]. Képler, *de Stella nova in pede Serp.*, p. 3.

(73) [page 138]. Voyez, sur les étoiles qui n'ont pas disparu, Argelander dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, n° 624, p. 371. Pour prendre aussi un exemple dans l'antiquité, il suffit de rappeler la négligence avec laquelle Aratus a écrit son poëme astronomique: ses oublis ont donné lieu de se demander si Véga de la Lyre ne serait pas une étoile nouvelle, ou bien une étoile variable à longue période. Aratus dit, en effet, que la constellation de la Lyre ne renferme que de petites étoiles. Il est bien étrange, cependant, qu'Hipparque n'ait point signalé cette erreur dans son Commentaire, tandis qu'il ne manque pas de relever une autre erreur sur l'éclat relatif des étoiles de Cassiopée et du Serpentaire. Mais ce sont là des omissions fortuites qui ne prouvent rien; car Aratus, n'ayant attribué au Cygne que des étoiles « d'un éclat moyen, » Hipparque signale expressément cette erreur (I, 14), et ajoute que la brillante du Cygne (Deneb) est à peine inférieure à celle de la Lyre (Véga). Ptolémée range celle-ci parmi les étoiles de 1re grandeur. Dans les Catastérismes d'Ératosthène, Véga est nommée λευκὸν καὶ λαμπρόν. Est-il possible de décider, sur le seul témoignage d'un poëte qui n'observait pas lui-même les étoiles et qui s'est exposé ainsi à plus d'une erreur, que Véga de la Lyre (la *Fidicula* de Pline, XVIII, 25) n'était pas une étoile

de 1re grandeur, à l'époque d'Aratus, et qu'elle n'a atteint son éclat actuel qu'entre Aratus et Hipparque, c'est-à-dire de 272 à 127 avant notre ère?

(74) [page 141]. Cf. Mædler. *Astron.*, p. 438, note 12, avec Struve, *Stellarum composit Mensuræ microm.*, p. 97 et 98, étoile 2140. « Je crois, dit Argelander, qu'il est extrêmement difficile d'estimer avec justesse l'éclat d'étoiles aussi différentes que les deux composantes de α d'Hercule. Mes observations sont décidément contraires à l'hypothèse de la variabilité du satellite. En effet, α d'Hercule ne m'a jamais paru simple dans les nombreuses observations que j'ai faites, de jour, aux cercles méridiens d'Abo, d'Helsingfors et de Bonn: or cela n'aurait pas eu lieu si le compagnon eût été de 7e grandeur, dans son minimum d'éclat. Je persiste à le croire invariable et à le ranger dans la 5e ou la 5-6e grandeur.

(75) [page 141]. La table de Mædler (*Astron.*, p. 435) contient 18 étoiles avec des éléments numériques très-différents. Sir John Herschel compte plus de 45 étoiles variables, y compris celles qui sont indiquées dans le texte (*Outlines*, § 819-826).

(76) [page 142]. Argelander dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, t. XXVI (1848), n° 624, p. 369.

(77) [page 144]. « En prenant, dit Argelander, pour époque initiale celle du minimum d'éclat d'Algol en 1800, janvier 1, à 18h 1m de temps moyen de Paris, j'obtiens les durées suivantes de la période pour:

— 1987 ...	2j 20h 48m 59s,416 ...	± 0s,316
— 1406	58 ,737	± 0 ,094
— 825	58 ,393	± 0 ,175
+ 751	58 ,454	± 0 ,039
+ 2328	58 ,193	± 0 ,096
+ 3885	57 ,971	± 0 ,045
+ 5441	55 ,182	± 0 ,348

Voici la signification des nombres de ce tableau: Si l'on prend l'époque du minimum au 1er janvier 1800 pour zéro, celle du minimum précédent sera — 1, celle du minimum suivant sera + 1, etc..... Alors la durée de la période entre les minima désignés par — 1987 et — 1986 sera exactement 2j 20h 48m 59s,416;

la durée entre + 5441 et + 5442 sera 2j 20h 48m 55s,182. La première durée répond à l'an 1784 et la seconde à l'an 1842. Les nombres précédés du signe $\pm$ sont les erreurs probables. Ces nombres montrent bien que la période devient de plus en plus courte, résultat confirmé d'ailleurs par toutes les observations que j'ai faites depuis 1847. »

(78) [page 144]. La formule par laquelle Argelander a cherché à représenter toutes les observations des maxima de Mira de la Baleine, est:

$$+ 1751 \text{ sept. } 9{,}76 + 331{,}3363\,E + 10{,}5 \sin\left(\frac{360^\circ}{11}E + 86^\circ 23'\right)$$

$$+ 18{,}2 \sin\left(\frac{45^\circ}{11}E + 231^\circ\ 42\right) + 33{,}9 \sin\left(\frac{45^\circ}{22}E + 170^\circ\ 19'\right)$$

$$+ 65{,}3 \sin\left(\frac{15}{11}E + 6^\circ\ 37'\right);$$

dans laquelle E désigne le nombre des maxima qui ont eu lieu depuis le 9 septembre 1751 ; dans les coefficients numériques, l'unité est le jour moyen. D'après cette formule, le maximum de l'année actuelle aura lieu en

$$1751 \text{ sept. } 9{,}76 + 36446{,}99 + 10{,}48 - 11{,}24 + 19{,}60$$
$$+ 25{,}92 = 1851 \text{ août } 8{,}51.$$

Ce qui paraît parler le plus en faveur de cette formule, c'est qu'elle représente aussi l'observation du maximum de 1595 (*Cosmos*, t. II, p. 281); or cette observation discorderait de plus de 100 jours dans l'hypothèse d'une période uniforme. Cependant la loi des variations d'éclat de cette étoile paraît être très-compliquée, car les écarts de la formule vont encore à près de 25 jours dans certains cas, par exemple pour le maximum très-exactement observé de l'an 1840. »

(79) [page 144]. Cf. Argelander, *de Stella β Lyræ variabili*, 1844.

(80) [page 145]. Une des premières tentatives sérieuses qui aient été faites, pour déterminer la durée moyenne de la période de Mira de la Baleine, est due à Jacques Cassini, *Éléments d'Astronomie*, 1740, p. 66-69.

(81) [page 155]. Newton (*Philos. Nat. Principia mathem.*, éd. Le Seur et Jacquier, 1760, t. III, p. 671) ne distingue que deux classes dans ces phénomènes sidéraux : « Stellæ fixæ quæ per vices apparent et evanescunt, quæque paulatim crescunt, videntur revolvendo partem lucidam et partem obscuram per vices ostendere. « Riccioli avait déjà proposé cette explication pour les variations d'éclat des étoiles. Quant à la réserve que l'on doit mettre à prononcer sur la périodicité de ces variations, voyez les importantes considérations de Sir John Herschel, dans le *Voyage au Cap*, § 261.

(82) [page 156]. Delambre, *Hist. de l'Astron. ancienne*, t. II, p. 280, et *Hist. de l'Astron. au 18e siècle*, p. 119.

(83) [page 157]. Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, § 71-78, et *Outlines of Astron.*, § 830. Cf. *Cosmos*, t. I, p. 124-125 et 354-355.

(84) [page 157]. Lettre manuscrite du lieutenant Gilliss, astronome de l'Observatoire de Washington, au docteur Flügel, consul des États-Unis de l'Amérique du Nord à Leipzig. A Santiago de Chili, le ciel reste pendant 8 mois si pur, et l'atmosphère si transparente, que le lieutenant Gilliss distinguait parfaitement la 6e étoile du trapèze d'Orion avec une lunette de 0m,175 d'ouverture, construite par Henry Fitz, de New-York, et William Young, de Philadelphie.

(85) [page 158]. Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, 334, 350, note 1, et 440. (Sur les anciennes observations de la Chèvre et de Véga, cf. William Herschel dans les *Philos. Transact.*, 1797, p. 307 ; 1799, p. 121, et dans le *Jahrbuch* de Bode pour 1810, p. 148.) Au contraire Argelander met en doute la variabilité de la Chèvre et des étoiles de la Grande Ourse.

(86) [page 159]. *Voyage au Cap*, § 259, n° 260.

(87) [page 159]. Heis, dans ses notices manuscrites de mai 1850. Cf. aussi le *Voyage au Cap*, p. 325 et P. de Boguslawski, *Uranus* für 1848, p. 186. La variabilité supposée de η, α et δ de la Grande-Ourse est aussi confirmée dans les *Outlines*, p. 559. Sur les étoiles qui indiqueront successivement le pôle nord jusqu'à Véga de la Lyre, la plus belle de toutes, laquelle prendra, dans 12000 ans, la place de l'étoile polaire actuelle, cf. Mædler, *Astron.*, p. 432.

(88) [page 159]. *Cosmos*, t. III.

(89) [page 159]. William Herschel, on the Changes that happen to the Fixed Stars, dans les *Phil. Transact.* for 1796, p. 186. Voyez aussi Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, p. 350-352, et l'excellent écrit de Mary Somerville: *Connexion of the Physical Sciences*, 1846, p. 407.

(90 [page 162]. Encke, *Betrachtungen über die Anordnung des Sternsystems*, 1844, p. 12 (*Cosmos*, t. III, p. 23); Mædler, *Astron.*, p. 445; Faye, *Comptes rendus*, t. XXVI, p. 76.

(91) [page 163]. Halley dans les *Philos. Transact.* for 1717-1719, t. XXX, p. 736. Ses considérations ne portaient du reste que sur les variations en latitude; ce fut Jacques Cassini qui s'occupa, le premier, des variations en longitude (Arago, dans l'*Annuaire* pour 1842, p. 387).

(92) [page 164]. Delambre, *Hist. de l'Astron. moderne*, t. II, p. 658, et *Hist. de l'Astron. au* 18ᵉ *siècle*, p. 448.

(93) [page 164]. *Philos. Transact.*, t. LXXIII, p. 138.

(94) [page 164]. Bessel, dans le *Jahrbuch* de Schumacher pour 1839, p. 38: Arago, *Annuaire* pour 1842, p. 389.

(95) [page 164]. Sur α du Centaure, cf. Henderson et Maclear dans les *Memoirs of the Astron. Soc.*, t. XI, p. 61, et Piazzi Smyth dans les *Edinb. Transact.*, t. XVI, p. 447. Le mouvement propre d'Arcturus est de 2″,25, suivant Baily (*Memoirs of the Astron. Soc.*, t. V, p. 165); il est considérable par rapport aux mouvements propres d'autres étoiles très-brillantes; car celui d'Aldébaran n'est que de 0″,185 (Mædler, *Centralsonne*, p. 11), et celui de Véga de 0″,400. Parmi les étoiles de première grandeur, α du Centaure fait une très-remarquable exception; son mouvement propre, 3″,58, surpasse beaucoup celui d'Arcturus. Le mouvement propre de l'étoile double du Cygne est de 5″,123 par an, d'après Bessel (*Schum. Astron. Nachr.*, t. XVI, p. 6).

(96) [page 165]. *Astron. Nachr.* de Schumacher, n° 455.

(97) [page 165]. Même ouv., n° 618, p. 276. D'Arrest a basé son calcul sur la comparaison des observations de La Caille (1750) avec celles de Brisbane (1825) et de Taylor (1835). L'étoile 2151

de la Poupe du Navire a un mouvement propre de 7",871; elle est de 6[e] grandeur. (Maclear dans Mædler, *Untersuch. über die Fixstern-Système*, t. II, p. 5.)

(98) [page 165]. *Astron. Nachr.*, n° 661, page 201.

(99) [page 166]. Même ouv., n[os] 514-516.

(100) [page 166]. Struve, *Études d'Astron. stellaire*, texte, p. 47, notes, p. 26 et 51-57; Sir John Herschel, *Outlines*, § 859 et 860.

(1) [page 166]. Origène, dans le *Thesaurus* de Gronovius, t. X, p. 271.

(2) page [167]. Laplace, *Expos. du Syst. du Monde*, 1824, p. 395. Dans ses *Lettres cosmologiques*, Lambert montre beaucoup de penchant pour l'hypothèse des corps obscurs.

(3) [page 167]. Mædler, *Unters über die Fixstern-systeme*, t. II, (1848) p. 3, et *Astron.*, p. 416.

(4) [page 167]. Cf. *Cosmos*, t. III, page 69; Laplace, dans les *Allgem. geogr. Ephem.* de Zach, t. IV, page 1; Mædler, *Astron.*, p. 393.

(5) [page 168]. Opere di Galileo Galilei, t. XII, Milano, 1811, p. 206. Ce passage remarquable, qui indique la possibilité et même le projet d'une mesure, a été signalé par Arago, *Annuaire* pour 1842, p. 382.

(6) [page 169]. Bessel, dans le *Jahrbuch* für 1839 de Schumacher, p. 5 et 11.

(7) [page 170]. Struve, *Astron. stell.*, p. 104.

(8) [page 170]. Arago, dans la *Connaissance des temps* pour 1834, p. 281 : « Nous observâmes avec beaucoup de soin, M. Mathieu et moi, pendant le mois d'août 1812 et pendant le mois de novembre suivant, la hauteur angulaire de l'étoile au-dessus de l'horizon de Paris. Cette hauteur, à la seconde époque, ne surpasse la hauteur angulaire à la première que de 0",66. Une parallaxe absolue d'une seule seconde aurait nécessairement amené entre ces deux hauteurs une différence de 1",2. Nos observations n'indiquent donc pas que le rayon de l'orbite terrestre, que 39 millions de lieues soient vus de la 61[e] du Cygne sous un an-

gle de plus d'*une demi-seconde.* Mais une base vue perpendiculairement soutend un angle d'une demi-seconde quand on en est éloigné de 412 mille fois sa longueur. Donc la 61e du Cygne est *au moins* à une distance de la Terre égale à 412 mille fois 39 millions de lieues. »

(9) [page 170]. Bessel publia d'abord, dans le *Jahrbuch* de Schumacher, p. 39-49, et dans les *Astron. Nachr.*, n. 366, le nombre 0",3136 à titre de première approximation. Son résultat définitif est 0",3483 (*Astron. Nachr.*, n. 402, t. XVII, p. 274). Péters trouva, par ses propres observations, un nombre presque identique, 0",3490 (Struve, *Astron. stell.*, p. 99). Quant à la modification que Péters a fait subir au nombre de Bessel, elle provient de ce que Bessel avait promis, avant sa mort (*Astron. Nachr.*, t. XVII, p. 267), de soumettre à un nouvel examen l'influence de la température sur les mesures héliométriques. Il avait même réalisé en partie cette promesse dans le 1er volume de ses *Astronomische Untersuchungen*, mais sans faire d'application à ses observations de parallaxe. Cette application a été faite par Péters (*Ergänzungsheft zu den Astron. Nachr.*, 1849, p. 56), et cet astronome distingué a trouvé ainsi 0",3744 au lieu de 0",3483.

(10) [page 171]. Cette parallaxe de 0",3744 donne, pour la distance de la 61e du Cygne, 550900 fois la distance de la Terre au Soleil, ou 8455000 millions de myriamètres. La lumière emploie 3177 jours moyens pour parcourir cette distance. Les trois valeurs qui ont été successivement attribuées à cette parallaxe ont rapproché de nous (en apparence, bien entendu) la célèbre étoile double du Cygne, dans le rapport des nombres 10, 9 1/4 et 8 7/10, qui expriment, en années, le temps dont la lumière a besoin pour franchir l'espace qui nous en sépare.

(11) [page 171]. Sir John Herschel, *Outlines*, p. 545 et 551. Mædler (*Astron.*, p. 425) donne 0",9213, et non 0",9128, pour la parallaxe de α du Centaure.

(12) [page 171]. Struve, *Stell. compos. Mensuræ microm.*, p. CLXIX-CLXXII. Airy attribue à α de la Lyre une parallaxe inférieure à 0",1, ou plutôt il admet que cette parallaxe est trop faible pour pouvoir être déterminée avec les instruments dont il disposait à l'époque de ses observations (*Mem of the Royal Astron. Soc.*, t. X, p. 270).

(13) [page 171]. Struve, sur les mesures micrométriques qui ont été faites à l'aide de la grande lunette de l'Observatoire de Dorpat (oct. 1839), dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, n. 396, p. 178.

(14) [page 171]. Péters, dans Struve, *Astron. stell.*, p. 100.

(15) [page 172]. Péters, dans Struve, *Astr. stell.*, p. 101; Wichmann, W. Struve, Otto Struve et Faye dans les *Comptes rendus*, t. XXVI, p. 64, 69, et t. XXX, p. 68 et 78. Les parallaxes rapportées dans le texte donnent le moyen de transformer les mouvements propres (angulaires) des étoiles en mouvements linéaires et d'évaluer ainsi leurs vitesses en myriamètres ou en lieues (de 4000m). On verra, par le tableau suivant, avec quelle rapidité se meuvent la plupart de ces prétendues *fixes;* il est curieux que ce soit parmi elles qu'il faille chercher les exemples des plus grandes vitesses dont la matière ait paru animée jusqu'ici.

ÉTOILES	PARALLAXES	MOUVEMENTS propres	ESPACES PARCOURUS par seconde
α du Centaure.	0",913	3",580	5 lieues
61e du Cygne.	0 ,3744	5 ,123	16
Sirius.	0 ,230	1 ,234	6
1830 Groombridge.	0 ,226	6 ,974	37
"	0 ,1825	"	46
"	0 ,034	"	249
ι de la Grande Ourse.	0 ,133	0 ,746	7
Arcturus.	0 ,127	2 ,250	22
α de la Lyre.	0 ,207	0 ,364	2
La Polaire.	0 ,106	0 ,035	1/2
La Chèvre.	0 ,046	0 ,461	12

Il resterait à défalquer, des nombres contenus dans les deux dernières colonnes, l'effet produit par la translation de notre propre système. Cette réduction est devenue possible depuis que les travaux combinés d'Argelander, de O. Struve et de Péters nous ont appris, d'une part, la direction dans laquelle se meut notre Soleil, de l'autre, sa vitesse absolue dans l'espace. D'après O. Struve, un observateur, placé à la distance moyenne des étoiles de 2e grandeur, verrait le Soleil se mouvoir avec une vitesse

angulaire annuelle de 0",3392. D'après Péters, à cette distance correspond une parallaxe de 0",209. Ainsi la vitesse absolue du Soleil et de tout son cortége de planètes serait de 2 lieues par seconde. Mais on n'a point tenu compte de ce résultat dans le tableau précédent et, par suite, les nombres de lieues indiqués mesurent seulement les déplacements *relatifs* du Soleil et de chaque étoile pendant 1s. Il est bon d'ajouter aussi que ces nombres n'expriment que les projections, peut-être fort accourcies, des vitesses stellaires sur les plans perpendiculaires aux rayons visuels, car rien ne nous indique la direction absolue de ces mouvements dans l'espace. Les vitesses réelles peuvent donc être encore plus grandes que celles du tableau.

(16) [page 173]. Cf. sur le rapport entre les mouvements propres et la distance, pour les étoiles les plus brillantes, Struve, *Stell. comp. Mens. microm.*, p. CLXIV.

(17) [page 174]. Savary dans la *Connaissance des temps* pour 1830, p. 56-69 et p. 163-171. Cette brillante conception de Savary a été discutée par Struve au point de vue pratique (*Mensuræ microm.* p. CLXIV). D'après Struve, les étoiles doubles actuellement connues ne se prêtent point à une application avantageuse de cette méthode. Si les parallaxes ne sont pas inférieures à 0",1, il vaut mieux en tenter la détermination directe que de recourir à l'inégalité signalée par Savary. Toutefois cette inégalité pourrait devenir sensible, avec le temps, dans les étoiles à *longues périodes*, et permettre alors d'obtenir des parallaxes qui auraient échappé aux mesures directes. De plus, pour que l'idée de Savary reste parfaitement juste au point de vue théorique, il faut y introduire cette condition que la masse du satellite puisse être considérée comme nulle, vis-à-vis de la masse de l'étoile centrale. Si les masses étaient égales, les durées des demi-révolutions, dont il est parlé dans le texte, le seraient aussi; l'effet d'aberration dont il s'agit de déduire la parallaxe s'évanouirait. Cette remarque est due à Y. Villarceau qui a traité la question d'une manière complète, dans un mémoire encore inédit. Villarceau a été conduit à reconnaître la nécessité de tenir compte des masses (le rapport de leur différence à leur somme), en étudiant séparément, dans son analyse, les aberrations spéciales de chaque composante d'un même couple stellaire.

(18) [page 174]. *Cosmos*, t. I, p. 117 et 353.

(19) [page 175]. Mædler, *Astronomie*, p. 414.

(20) [page 175]. Arago a signalé le premier ce passage remarquable de Halley (*Annuaire* pour 1842, p. 383). Cf. dans le même volume, le chapitre relatif à la translation du système solaire p. 389-399.

(21) [page 176]. D'après une lettre que Gauss m'a adressée; Cf. *Astron. Nachr.*, n° 622, p. 348.

(22) [page 176]. Galloway, *on the Motion of the Solar System.*, dans les *Philos. Transact.*, 1847, p. 98.

(23) [page 177]. Argelander s'est expliqué sur la valeur que l'on doit attribuer à de pareilles conceptions dans son écrit: *über die eigene Bewegung des Sonnensystems, hergeleitet aus der eigenen Bewegung der Sterne*, 1837, p. 39.

(24) [page 178]. Cf. *Cosmos*, t. I, p. 116; Mædler, *Astron.*, p. 400.

(25) [page 178]. Argelander, même ouvr., p. 42; Mædler, *Centralsonne*, p. 9, et *Astron.*, p. 403.

(26) [page 178]. Argelander, même ouvr., p. 43, et dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, n° 566. Guidés, non par des recherches numériques, mais par des spéculations où l'imagination avait la meilleure part, Kant et Lambert avaient déjà désigné, l'un Sirius, l'autre la nébuleuse du Baudrier d'Orion, comme étant le corps central de notre amas stellaire (Struve, *Astron. stell.*, p. 17, n° 19).

(27) [page 178]. Mædler, *Astron.*, p. 380, 400, 407 et 414; *Centralsonne*, 1846, p. 44-47; *Untersuchungen über die Fixstern-Systeme*, 2e part., 1848, p. 183-185. (Alcyone est située par 54° 30′ d'AR, et + 23° 36′ de Décl. pour l'an 1840.) Si la parallaxe d'Alcyone était effectivement de 0″,0065, sa distance serait égale à 31 1/2 millions de fois le rayon de l'orbite terrestre; elle serait donc 50 fois plus éloignée de nous que la 61e du Cygne. La lumière, qui vient du Soleil à la Terre en 8m 18s, aurait besoin de 500 ans pour venir d'Alcyone. On peut citer, à ce propos, la

limite de grandeur à laquelle a pu s'élever l'imagination la plus hardie des anciens Grecs. Hésiode dit (*Theogonia*, v. 722-725), à propos des Titans précipités dans le Tartare: « Si une enclume d'airain tombait du ciel, pendant neuf jours et neuf nuits, au dixième jour elle atteindrait la Terre..... » L'espace ainsi parcouru en 777600 secondes de temps par un corps qui tombe, peut être aisément calculé, en tenant compte de la décroissance rapide que l'attraction du globe terrestre subit à des distances notables. Galle trouve, pour cette hauteur de chute, 57400 myriamètres; c'est une fois et demie la distance de la Lune à la Terre. Mais d'après l'*Iliade*, I, 592, Vulcain n'a mis qu'un jour à tomber du ciel dans l'île de Lemnos, et c'est à peine s'il respirait encore. » Quant à la chaîne qui pendait de l'Olympe sur la Terre, et sur laquelle les Dieux auraient réuni leurs efforts, sans pouvoir entraîner Jupiter (*Iliade*, VIII, 18), sa longueur reste indéterminée; ce n'est point là une image destinée à donner l'idée de la hauteur du ciel, mais seulement de la force et de la toute-puissance de Jupiter.

(28) [page 178]. Cf. les doutes élevés par Péters dans les *Astron. Nachr.* de Schumacher, 1849, p. 661, et par Sir John Herschel, *Outlines of Astron.*, p. 589: « In the present defective state of our knowledge respecting the proper motion of the smaller stars, we cannot but regard all attempts of this kind as to a certain extent premature, though by no means to be discouraged as forerunners of something more décisive. »

(29) [page 179]. Cf. *Cosmos*, t. I, p. 118-120 et 353; Struve, *über Doppelsterne nach Dorpater Micrometer-Messungen*, *von* 1824 *bis* 1837, p. 11.

(30) [page 180]. *Cosmos*, t. III, p. 41-43, 102-104 et 216-220. Comme exemple remarquable d'une portée de vue extraordinaire, on peut encore citer le maître de Képler, Mœstlin, qui voyait à l'œil nu 14 étoiles dans les Pléiades; quelques anciens en avaient vu 9. (Mædler, *Unters. über die Fixst.*, 2e part., page 36.)

(31) [page 180]. *Cosmos*, t. III, p. 168. Le docteur Gregory, d'Édimbourg, avait aussi recommandé cette méthode en 1675, c'est-à-dire 33 ans après Galilée; Cf. Thomas Birch, *Hist. of the Royal Soc.*, t. III, 1757, p. 225. Bradley a fait allusion à cette

méthode, en 1748, à la fin de son célèbre Mémoire sur la nutation.

(32) [page 181]. Mædler, *Astron.*, p. 477.

(33) [page 181]. Arago, dans l'*Annuaire* pour 1842, p. 400.

(34) [page 181]. An inquiry into the probable Parallax and Magnitude of the fixed Stars, from the quantity of Light which they afford us, and the particular circumstances of their situation, by the Rev. John Michell, dans les *Philos. Transact.*, t. LVII, p. 234-261.

(35) [page 181]. John Michell, même ouvr., p. 238: « If it should hereafter be found, that any of the stars have others revolving about them (for no satellites by a borrowed light *could possibly be visible*), we should then have the means of discovering.... » Dans tout le cours de sa discussion, il persiste à nier que l'une des deux étoiles composantes puisse être un corps obscur, une planète réfléchissant seulement la lumière de l'autre astre, et il se fonde sur ce que les deux astres sont *visibles pour nous, malgré leur distance.* Il compare la densité des deux étoiles, dont la plus grande est nommée par lui *central star*, à la densité de notre Soleil, et s'il emploie le mot de *satellite*, s'il parle de la « greatest apparent elongation of those stars, that revolved about the others as satellites, » ce n'est que pour indiquer l'idée purement relative de la révolution de la plus petite autour de la plus grande, sans oublier pour cela que les mouvements absolus s'exécutent autour du centre de gravité commun. Plus loin il dit (p. 243 et 249): « We may conclude with the highest probability (the odds against the contrary opinion being many million millions to one) that stars form a kind of system by mutual gravitation. Il is highly probable in particular, and next to a certainty in general, that such double stars as appear to consist of two or more stars placed near together, are under the influence of some general law, such perhaps as gravity... » (Cf. aussi Arago, dans l'*Annuaire* pour 1834, p. 308. pour 1842, p. 400.) On ne peut accorder une grande confiance aux résultats numériques des calculs de probabilités auxquels Michell s'est livré; il est parti d'une hypothèse inadmissible, à savoir qu'il y a dans le ciel entier 230 étoiles plus brillantes que β du Capricorne, et 1500 étoiles égales en éclat aux 6 étoi-

les des Pléiades. John Michell termine son ingénieux traité cosmologique par une explication bien hasardée de la scintillation: il l'attribue à une sorte de pulsation qui se produirait dans l'émission de la matière lumineuse. Cette explication n'est guère plus heureuse que celle que Simon Marius, l'un de ceux auxquels est due la découverte des satellites de Jupiter (*Cosmos*, t. II, p. 272 et 448), a donnée à la fin de son *Mundus Jovialis*, en 1614. Mais Michell a eu le mérite d'avoir fait remarquer le premier (p. 263), que la scintillation est toujours accompagnée de changements de couleur: « Besides their brightness, there is in the twinkling of the fixed stars a change of colour. » (Cf. *Cosmos*, t, III, p. 229.)

(36) [page 182]. Struve, dans le *Recueil des Actes de la Séance publique de l'Acad. Imp. des Sciences de St-Pétersbourg*, le 29 déc. 1832, p. 48-50: Mædler, *Astron.*, p. 478.

(37) [page 183]. *Philos Transact.* for the year 1782, p. 40-126, for 1783, p. 112-124, for 1804, p. 87. Cf. Mædler, dans le *Schumacher's Jahrbuch* für 1839, p. 59, et les *Unters. über die Fixstern-Systeme*, 1re part., 1847, p. 7.

(38) [page 184]. Mædler, même ouvr., 1re part., p. 255. On a, pour Castor, deux anciennes observations de Bradley, datant de 1719 et de 1759, la première faite en commun avec Pound, la deuxième avec Maskelyne, et deux observations de W. Herschel, de 1779 et 1803.

(39) [page 184]. Struve, *Mensuræ microm.*, p. XL et p. 234-248. Il y a en tout $2641 + 146 = 2787$ couples observés (Mædler, *Schum. Jahrb.*, 1839, p. 64).

(40) [page 185]. Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, c'est-à-dire *Astron. observ. at the Cape of Good Hope*, p. 165-303.

(41) [page 185]. Même ouvr., p. 167 et 242.

(42) [page 185]. Argelander, dans son travail sur les mouvements propres des étoiles. Cf. son écrit: *DLX stellarum fixarum positiones mediæ ineunte anno* 1830, *ex observ. Aboæ habitis* (Helsingforsiæ 1825). Mædler évalue à 600 le nombre des étoiles multiples qui ont été découvertes à Poulkova depuis 1837 (*Astron.*, p. 625).

(43) [page 186]. Il est permis de supposer que toutes les étoiles ont un mouvement propre; mais le nombre de celles dont le mouvement a pu être constaté dépasse à peine le nombre des étoiles doubles dans lesquelles on a reconnu un déplacement relatif des composantes. (Mædler, *Astron.*, p. 394, 490 et 520-540.) Struve a discuté ces relations numériques dans les *Mens. microm.*, p. XCIV, en traitant séparément les couples où la distance est de 0″ à 1″, de 2″ à 8″, et de 16″ à 32″. Il est bon de rappeler ici que si les distances inférieures à 0″,8 ont été simplement estimées, des recherches instituées à l'aide d'étoiles doubles artificielles ont donné l'assurance que ces évaluations sont sûres à 0″,1 près. Struve, *über Doppelsterne nach Dorpater Beobacht.*, p. 29.

(44) [page 187]. John Herschel, *Voyage au Cap*, p. 166.

(45) [page 187]. Struve, *Mens. microm.*, p. LXXVII-LXXXIV.

(46) [page 187]. John Herschel, *Outlines of Astron.*, p. 579.

(47) [page 187]. Pour regarder le Soleil à travers une lunette, on emploie des verres obscurcissant, teints de deux couleurs foncées, mais complémentaires; on obtient ainsi des images blanches du disque solaire. Pendant mon long séjour à l'Observatoire de Paris, Arago se servait déjà de verres semblables, pour observer les éclipses ou les taches du Soleil. On combine ainsi deux verres dont l'un est rouge et l'autre vert, ou l'un jaune et l'autre bleu, ou encore une nuance de vert avec le violet. « Lorsqu'une lumière forte se trouve auprès d'une lumière faible, la dernière prend la teinte *complémentaire* de la première. C'est là le *contraste*; mais comme le rouge n'est presque jamais pur, on peut tout aussi bien dire que le rouge est complémentaire du bleu. Les couleurs voisines du spectre solaire se substituent. » (Arago, *Manuscrit* de 1847.)

(48) [page 187]. Arago, dans la *Connaissance des Temps* pour 1828, p. 299-300; dans l'*Annuaire* pour 1834, p. 246-250; pour 1842, p. 347-350. « Les exceptions que je cite, prouvent que j'avais bien raison en 1825 de n'introduire la notion physique du *contraste* dans la question des étoiles doubles qu'avec la plus grande réserve. Le bleu est la couleur réelle de certaines étoiles. Il résulte des observations recueillies jusqu'ici que le firmament est-non-seulement parsemé de soleils *rouges* et *jaunes*, comme

le savaient les anciens, mais encore de soleils *bleus* et *verts*. C'est au temps et à des observations futures à nous apprendre si les étoiles vertes et bleues ne sont pas des soleils déjà en voie de décroissance; si les différentes nuances de ces astres n'indiquent pas que la combustion s'y opère à différents degrés; si la teinte, avec excès de rayons les plus réfrangibles, que présente souvent la petite étoile, ne tiendrait pas à la force absorbante d'une atmosphère que développerait l'action de l'étoile, ordinairement beaucoup plus brillante, qu'elle accompagne. » (Arago dans l'*Annuaire* pour 1834, p. 295-301.)

(49) [page 188]. Struve, *über Doppelsterne nach Dorpater Beobachtungen*, 1837, p. 33-36 et *Mensuræ microm.*, p. LXXXIII; il compte 63 couples dont les deux étoiles sont bleues ou bleuâtres, et où, par conséquent, la coloration ne saurait être un effet de contraste. Quand on en vient à comparer les appréciations de différents observateurs, sur les couleurs du même couple, on est frappé des divergences que l'on rencontre. Par exemple, un observateur trouve que le compagnon de telle étoile rouge ou orangée est *bleu*, tandis qu'un autre observateur lui attribuera la couleur *verte*.

(50) [page 188]. Arago, dans l'*Annuaire* pour 1834, p. 302.

(51) [page 188]. *Cosmos*, t. III, p. 104-107.

(52) [page 189]. » This superb double star (α du Centaure), is beyond all comparison the most striking object of the kind in the heavens, and consists of two individuals, both of a high ruddy or orange colour, though that of the smalter is of a somewhat more sombre and brownish cast. » Sir John Herschel, *Voyage au Cap*, p. 300. Mais d'après les belles observations du capitaine Jacob (Bombay Engineers) en 1846, 1847 et 1848, l'étoile principale est de 1re grandeur et le compagnon serait seulement de 2e,5 ou de 3e grandeur (*Transact. of the Royal Soc. of. Edinb.*, t. XVI, 1849, p. 451).

(53) [page 189]. *Cosmos*, t. III, p. 140, 153 et 268.

(54) [page 189]. Struve, *über Doppelst. nach Dorp. Beobacht.*, page 33.

(55) [page 189]. Même ouvrage, p. 36.

(56) [page 190]. Mædler, *Astron.*, p. 517; J. Herschel, ***Outlines of Astronomy***, p. 568.

(57) [page 190]. Cf. Mædler, ***Untersuch. über die Fixstern-Systeme***, 1[re] part., p. 225-275; 2[e] part., p. 235-240; le même dans *Astron.*, p. 541; J. Herschel, ***Outlines***, p. 573.

(58) [page 190]. L'occultation n'a été qu'apparente: elle est due aux disques factices que les étoiles conservent dans les meilleures lunettes (***Cosmos***, t. III, p. 105). D'après les calculs de Villarceau, la distance apparente des centres des deux étoiles de ζ d'Hercule n'a jamais été au-dessous de 0″,5 (en 1795 et en 1830); or les disques réels des plus belles étoiles sont probablement beaucoup plus faibles que la moitié de cette distance. Mais, dans ζ d'Hercule, l'étoile principale est de 3[e] grandeur et le satellite est de 6[e] à 7[e] grandeur; ce dernier à donc pu disparaitre dans les rayons de la plus grande, c'est-à-dire dans son disque factice, à l'époque du plus petit périhélie apparent. Pour η de la Couronne, au contraire, la distance des 2 étoiles a été de 0″,4 en 1784 et vers la fin de 1850, et pourtant il n'y a pas eu d'occultation. C'est que ces 2 étoiles sont beaucoup plus faibles que ζ d'Hercule; leurs disques factices sont moins grands; l'un d'eux n'empiète jamais complètement sur l'autre, malgré une moindre distance apparente au périhélie.

(59) [page 194]. Voyez, pour ξ de la Grande Ourse, p d'Ophiucus, ζ d'Hercule et η de la Couronne, Yvon Villarceau dans les Additions à *la* ***Connaissance des Temps*** pour 1851, et les ***Comptes rendus de l'Acad. des Sciences***, t. XXXII, p. 50.

